

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Studijní program: Geografie (navazující magisterské studium)

Studijní obor: Kartografie a geoinformatika



Bc. Zuzana VOJTÍŠKOVÁ

GENERALIZACE CESTNÍ SÍTĚ V TOPOGRAFICKÝCH MAPÁCH

GENERALIZATION OF ROAD NETWORK IN TOPOGRAPHIC MAPS

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Jakub Lysák, Ph.D.

Praha 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval/a samostatně a že jsem uvedl/a všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Dobrušce dne 19. 4. 2017

.....
Zuzana Vojtíšková

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala především vedoucímu své práce RNDr. Jakubu Lysákovi, Ph.D. za cenné rady, čas a energii, které mi věnoval, za trpělivost a velmi vstřícný přístup. Dále děkuji Zeměměřickému úřadu za poskytnutí dat pro vypracování této práce. Obrovské poděkování patří i mým blízkým, kteří mi byli po celou dobu studia oporou.

Generalizace cestní sítě v topografických mapách

Abstrakt

Stěžejním tématem práce je automatizace výběru prvků cestní sítě. Kromě stručného představení pojmu a objasnění jeho pozice v rámci procesu generalizace je rešeršní část věnována především metodám řešení výběru prvků, a to v české topografické praxi i ve světové odborné literatuře. Následující část práce popisuje data a nástroje použité během řešení práce. Stěžejní část je věnována vlastní metodice automatizace výběru prvků cestní sítě, včetně jejího podrobnějšího rozboru a testování její správnosti na vybraných územích.

Klíčová slova: generalizace mapy, cestní síť, výběr cest, teorie grafů, ZABAGED, ArcGIS, Python, NetworkX

Generalization of Road Network in Topographic Map

Abstract

The diploma thesis presents automated selection of the elements of path network. The review deals with this term and describes its position in map generalization process; the ways of path thinning applied in the main Czech cartography institutions are reviewed too. Next part of the thesis describes the data and the tools that are applied in the proposed method. The main part introduces the suggested method of selecting elements of path network which was implemented on the test data.

Keywords: map generalization, path network, path thinning, graph theory, ZABAGED, ArcGIS, Python, NetworkX

OBSAH

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK.....	6
SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....	7
1 Úvod.....	9
2 Výběr úseků cestní sítě v rámci generalizace.....	10
2.1 Generalizace liniových prvků.....	10
2.2 Výběr liniových prvků	11
3 Řešení problému v současnosti	12
3.1 Digitální kartografie	12
3.1.1 Vlastnosti silniční sítě relevantní pro generalizaci.....	12
3.1.2 Experimentální postupy z odborné literatury	13
3.1.3 Praxe používaná v komerční sféře	15
3.2 Praxe používaná v národních mapovacích agenturách.....	16
3.2.1 Vojenské mapové dílo	16
3.2.2 Civilní mapové dílo	17
4 Popis dat a použitých nástrojů.....	18
4.1 Cestní síť v ZABAGED	18
4.1.1 ZABAGED	18
4.1.2 Součásti cestní a silniční sítě	18
4.1.3 Korektnost propojení jednotlivých typů objektů v rámci sítě komunikací	19
4.2 Výběr softwaru pro řešení problematiky.....	20
4.2.1 Síťové analýzy v Network Analystu	20
4.2.2 Grafová teorie a její využití nástrojem NetworkX	21
5 Metodika.....	25
5.1 Pravidla pro výběr cest a pěšin.....	26
5.2 Vlastní postup práce	27
5.2.1 Rozdělení území na samostatné celky	28
5.2.2 Hierarchie a tematický obsah	29
5.2.3 Zjišťování konektivity	32
5.3 Testování vytvořených skriptů	47
6 Diskuze.....	60
7 Závěr.....	70
POUŽITÉ ZDROJE	71
SEZNAM PŘÍLOH	75

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK

ČSN	Česká technická norma
ČÚZK	Český úřad zeměměřičský a katastrální
DMÚ 25	Digitální model území v měřítku 1 : 25 000
RETM	Rastrové ekvivalenty topografických map
TM 25	Vojenské topografické mapy měřítka 1 : 25 000
TM 50	Vojenské topografické mapy měřítka 1 : 50 000
VGHMÚř	Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad
ZABAGED	Základní báze geografických dat
ZM 10	Základní mapa v měřítku 1 : 10 000
ZM 25	Základní mapa v měřítku 1 : 25 000

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

obr. 1: Generalizace bez zohlednění topologických vlastností	13
obr. 2: „Good continuation“ princip a „stroke“	14
obr. 3: Hustota silniční sítě vypočítaná pro Voronoiovy diagramy	15
obr. 4: Ukázka atributů typu objektu cesta v prostředí ArcGIS	18
obr. 5: Ukázka atributů typu objektu pěšina v prostředí ArcGIS	19
obr. 6: Topologicky korektní síť tvořená cestami	19
obr. 7: Topologicky nekorektní napojení cest na silnici	20
obr. 8: Diagram ilustrující princip tvorby grafu	21
obr. 9: Odlišnosti ZM 25 a výstupu nástroje Thin Road Network	25
obr. 10: Ukázka jediných přístupových cest k budovám	31
obr. 11: Atributová tabulka popisující část výstupu ze skriptu	32
obr. 12: Budovy použité k tvorbě bodů pro zjišťování konektivity	34
obr. 13: Hodnocení důležitosti křižovatek	37
obr. 14: Princip výběru bodů pro určování konektivity pomocí z důležitých křižovatek	38
obr. 15: Princip hledání „nejkratší“ trasy mezi dvěma body	40
obr. 16: Data zpracovaná pro přípravu grafu	43
obr. 17: Modelová území vybraná pro testování vytvořeného algoritmu	47
obr. 18: Barevné vyjádření shody algoritmu se ZM 25	49
obr. 19: Vizualizace shody navrženého algoritmu a ZM 25 u modelového území 1	50
obr. 20: Vizualizace shody navrženého algoritmu a ZM 25 u modelového území 2	51
obr. 21: Vizualizace shody navrženého algoritmu a ZM 25 u modelového území 3	52
obr. 22: Vizualizace shody navrženého algoritmu a ZM 25 u modelového území 4	53
obr. 23: Vizualizace shody navrženého algoritmu a ZM 25 u modelového území 5	55
obr. 24: Vizualizace shody navrženého algoritmu a ZM 25 u modelového území 6	56
obr. 25: Vizualizace shody navrženého algoritmu a ZM 25 u modelového území 7	58
obr. 26: Část modelového území 7	58
obr. 27: Vyloučení zpevněné cesty ze ZM 25	60
obr. 28: Nesoulad ZABAGED se ZM 10 a ZM 25	63
obr. 29: Jediná přístupová cesta k zřícenině hradu	65
obr. 30: Odtržené úseky	68

tab. 1: Seznam hran, příslušných vrcholů (uzlů) a vah grafu	21
tab. 2: Váhy jednotlivých kategorií úseků cestní sítě	29
tab. 3: Váhy jednotlivých kategorií úseků určující „důležité“ křižovatky	36
tab. 4: Váhy jednotlivých bodů pro určování konektivity určené vahami okolních cest	36
tab. 5: Volba konstant pro jednotlivé úseky použitých při výpočtu konektivity	40
tab. 6: Modelová území vybraná pro testování vytvořeného algoritmu	48
tab. 7: Chybová matice	48
tab. 8: Příklad chybové matice	49
tab. 9: Chybová matice u modelového území 1	50
tab. 10: Chybová matice u modelového území 2	51
tab. 11: Chybová matice u modelového území 3	52
tab. 12: Chybová matice u modelového území 4	53
tab. 13: Chybová matice u modelového území 5	54
tab. 14: Chybová matice u modelového území 6	56
tab. 15: Chybová matice u modelového území 7	57
tab. 16: Souhrn procentuálních shod algoritmu a ZM 25 u jednotlivých modelových území ..	59
tab. 17: Chybová matice - nástroj Thin Road Network u modelového území 3	64
tab. 18: Chybová matice - algoritmus s pozměněným parametrem u modelového území 3	64
tab. 19: Chybová matice – shoda algoritmu s nástrojem Thin Road Network	64

1 Úvod

Proces generalizace předchází vzniku téměř každé mapy. I přes pokročilé technické možnosti, velkého rozšíření GIS softwaru a obrovskou škálu dalších specializovaných programů a nástrojů je zásadní práce během generalizace do značné míry stále závislá na ruční práci kartografů, jejich úsudku, zkušenostech a estetickém vnímání.

Automatizace generalizace je velmi obtížná z důvodu, že je pro ni téměř nemožné definovat pravidla platná a použitelná ve všech situacích (Stoter, Altena, Post, 2014). Navíc se dle Stotera a kol. (2009) jedná o velice subjektivní proces, který nemá jediné možné správné řešení.

Cílem této diplomové práce je navržení metodiky a praktické otestování automatizace první fáze generalizace cestní sítě při odvozování ZM 25 ze ZABAGED, která spočívá ve výběru těch úseků, jež mají být zahrnuty do mapy menšího měřítka. Tu v současné české praxi ručně vykonávají kartografové. Nasnadě je tedy vytvořit algoritmus, který bude ideálně vykazovat stejné výsledky jako ruční práce zkušených kartografů, ovšem v mnohem kratším čase, s nižšími náklady a bez rizika selhání lidského faktoru.

Fakt, že generalizace bude prováděna nad cestní a nikoli silniční sítí, je v této práci jedním z klíčových. Cestní síť zahrnuje dle Janaty (2016) takové komunikace, na něž není vjezd vozidel běžně povolen anebo nejsou ani pro automobilový provoz určeny. Řadí se do ní cesty, stezky a pěšiny. Pro tuto práci je podstatné to, že oproti silniční sítí je zde minimální hierarchie plynoucí z množství vedených atributů, na níž je většina současných metod generalizace sítí komunikací alespoň zčásti založena.

2 Výběr úseků cestní sítě v rámci generalizace

S generalizací se dle Čapka a kol. (1992) setkává kartograf při odvozování map menšího měřítka nebo při zpracování mapy pro jiný účel. Dle ČSN 73 0401 spočívá ve výběru, geometrickém zjednodušení a zevšeobecnění objektů, jevů a jejich vzájemných vztahů pro jejich grafické vyjádření v mapě, ovlivněné účelem, měřítkem mapy a vlastním předmětem kartografického zobrazování.

Generalizace má pak za úkol především vyjádřit ucelený a objektivní obraz území na mapách menších měřítek tak, aby byly zachovány charakteristické rysy území.

Jak již napovídá samotná definice, rozlišují se dle Lauermanna (1975) čtyři metody generalizace, a to metoda výběru, metoda zevšeobecnování tvarů, metoda zevšeobecnování kvalitativních a kvantitativních charakteristik a nahrazení obrazů jednotlivých předmětů jejich hromadným označením. Během generalizace je nutné využít kombinaci výše zmíněných metod, jež jsou navzájem spjaty a prolínají se.

Generalizaci ovlivňují účel mapy, její měřítko, charakter zobrazovaného území a značkový klíč. Čapek a kol. (1992) pak ještě k činitelům generalizace přidává osobnost kartografa a kvalitu podkladových dat (pramenných materiálů).

2.1 Generalizace liniových prvků

Během generalizace liniových prvků jsou uplatňovány první tři zmíněné metody. První z nich, tedy výběru liniových prvků, bude věnována samostatná kapitola. Na vybrané prvky je aplikována metoda zevšeobecnování tvarů, spočívající ve zjednodušení jejich průběhu, a to zachováním a zdůrazněním typických a důležitých výběžků a tvarů a naopak vypuštěním a potlačením nepodstatných a těžko znázornitelných podrobností.

Zevšeobecněním kvalitativních charakteristik (neboli kvalitativním slučováním) je myšleno zmenšení počtu vyjadřovacích prostředků pro různé obměny jednoho prvku. Znamená to, že několik odlišných, ovšem druhově příbuzných objektů, nově vyjádříme jedním znakem.

2.2 Výběr liniových prvků

Výběr prvků má dle Lauermanna (1975) dominantní postavení mezi všemi metodami generalizace a začíná jím každá generalizace. Nejinak je tomu i u liniových prvků, kde např. výběr cest předchází zjednodušování jejich průběhu, jejich posouvání, apod.

Výběr lze dělit na normativní a cenzální. Během cenzálního výběru jsou prvky rozříděny do určitých kategorií podle jejich významnosti a podle předem stanovených pravidel je určeno, které kategorie budou do mapy vybrány a které ne. Cenzální metoda výběru bývá často použita ve směrnících pro zpracování dat, kde se dle Čapka a kol. (1992) udává horní mez (prvky patřící do kategorie významnější než daná mez budou v mapě ponechány) a dolní mez (prvky patřící do kategorie méně významné než daná mez budou z mapy vyloučeny). Cenzální výběr je použit například v Seznamu mapových značek Základní mapy ČR 1 : 25 000, podle něhož jsou v ZM 25 ponechány všechny udržované polní a lesní cesty nebo hlavní spojovací cesty vedené v datech ZABAGED (ČÚZK, 1993).

Normativní výběr je prováděn na základě rozborů zákonitostí a vztahů mezi geografickými prvky na podkladových a odvozených mapách a na základě únosné míry zaplnění odvozené mapy. Výsledkem těchto rozborů je stanovení nejvyššího možného (případně optimálního) množství prvků vztaženého k určitému území, jež by měly být zakresleny do odvozené mapy.

Srnka (1968) uvádí, že normativní výběr liniových prvků je specifický tím, že je kromě počtu prvků na jednotku plochy sledována též jejich celková délka na jednotku plochy, což je v souladu s údaji uváděnými Lauermannem (1975).

Právě výběr prvků cestní sítě, který je zásadní a nezbytně nutný krok pro další fáze generalizace, je řešen v této diplomové práci. Jedním z důvodů zařazení právě této fáze generalizace do praktické části práce je to, že na rozdíl od ostatních fází je ve větší či menší míře prováděna vždy a tvoří nejpodstatnější část generalizace cestní sítě. Zároveň je zde potenciál v aplikaci výše zmíněných způsobů výběru, které může za určitých okolností správně zvolený algoritmus zvládnout lépe než kartograf během manuální práce.

3 Řešení problému v současnosti

Výběr úseků ze sítě komunikací do generalizované mapy obecně zahrnuje dva hlavní problémy, jimiž je výběr konkrétních vlastností cestní sítě, na jejichž základě generalizace probíhá, a volba vlastního postupu generalizace. Tyto problémy jsou řešeny rozdílně v odborných člancích, komerční sféře a topografické a kartografické praxi.

3.1 Digitální kartografie

Problematikou výběru sítě komunikací se zabývá vědecká společnost i komerční komunita, a to především v posledních dvaceti letech (Weiss, Weibel, 2014). Publikované práce se ovšem zaměřují téměř výhradně na silniční a dálniční síť.

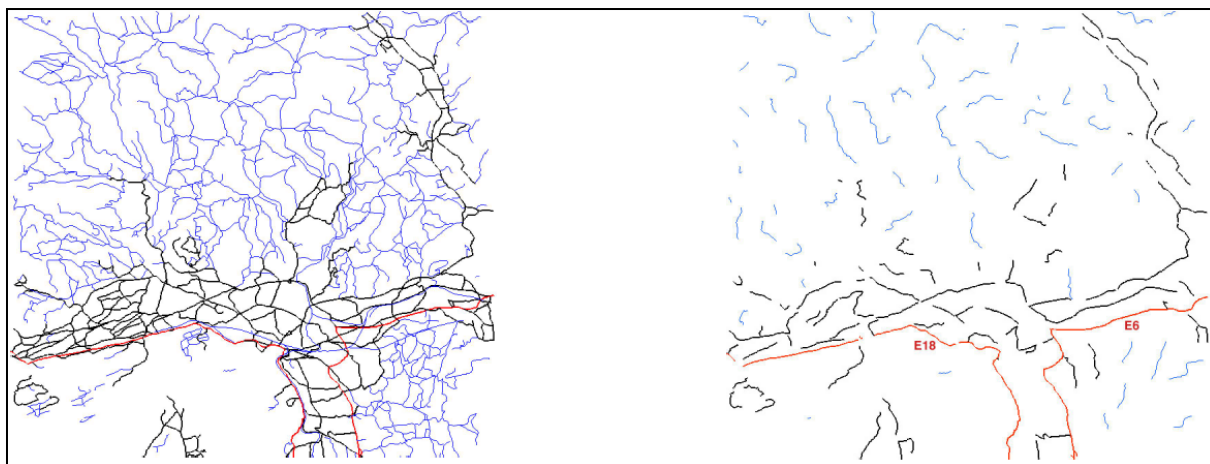
V následujícím textu jsou shrnuty hlavní přístupy k problematice ze současné odborné literatury, jejichž myšlenky byly použity při návrhu vlastního postupu.

3.1.1 Vlastnosti silniční sítě relevantní pro generalizaci

Jak bylo v úvodu zmíněno, řešení problému spočívá ve výběru informací, na jejichž základě bude generalizace provedena, a jejich zahrnutí do vhodného postupu.

Vlastnosti silniční sítě zohledněné při její generalizaci se obecně dělí na topologické, geometrické a tematické, některé zdroje pak zmiňují čtvrtou skupinu vlastností, a to vlastnosti statistické.

Topologické vlastnosti sítě komunikací vypovídají o vzájemných vztazích a propojenosti jednotlivých objektů v ní. Nejtypičtějším příkladem je konektivita (Bjørke, 2004), tedy spojitost dopravní sítě představující míru vzájemného propojení objektů. Jako další příklad této skupiny vlastností uvádějí Richardson a Thomson (1996) vztahy mezi sousedními prvky sítě a vztahy prvků sítě s dalšími geografickými objekty. Obr. 1 ilustruje opomenutí topologických vlastností při generalizaci, v důsledku čehož dochází k nespojitosti výsledné sítě.



obr. 1: Generalizace bez zohlednění topologických vlastností

zdroj: Bjørke, Isaksen (2005)

Druhou zmiňovanou skupinou vlastností silniční sítě jsou vlastnosti geometrické. Do ní patří dle Richardsona a Thomsona (1996) délka a pozice úseku či pozice bodového objektu v rámci sítě. Podmnožinou této skupiny jsou vlastnosti metrické, mezi něž Bjørke (2004) řadí tvar a délku oblouku.

Vlastnosti tematické (někdy též zvané hierarchické) jsou takové, na jejichž základě můžeme přiřazovat všem objektům s daným atributem určitou míru důležitosti v rámci sítě. Patří mezi ně např. typ povrchu, kategorie úseku (Richardson, Thomson, 1996) nebo počet jízdních pruhů (Bjørke, 2004).

Příkladem poslední zmiňované skupiny vlastností sítě, jíž jsou vlastnosti statistické, je hustota silniční sítě (tedy délka komunikací vztažená na jednotku plochy).

Vlastnosti komunikační sítě lze ještě přiřazovat ke třem prostorovým úrovním. Zatímco vlastnosti na makro-úrovni berou v potaz celkovou strukturu sítě komunikací, mezo-úroveň se zabývá vzájemnými vztahy sousedících komunikací a dalších objektů, mikro-úroveň se pak zaměřuje na vlastnosti konkrétních úseků silnic. Liu, Zhan a Ai (2010) uvádějí jako příklad počet pruhů na vozovce, který řadí do skupiny tematických vlastností na mikro-úrovni.

3.1.2 Experimentální postupy z odborné literatury

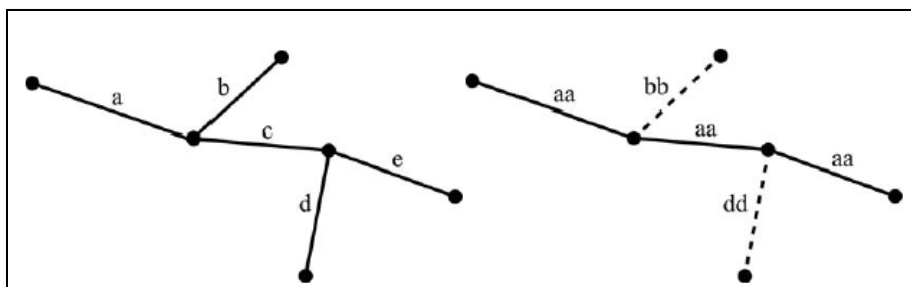
Výše zmiňované atributy jsou ve větší či menší míře zohledňovány v samotném výběru komunikací v rámci generalizace. Liu, Zhan a Ai (2010) uvádějí tři skupiny algoritmů. Nejčastěji se používají výběry založené na typu jednotlivých úseků (tzv. semantic-based

selection), kde se do algoritmu zapracovávají tematické vlastnosti objektů, s nimiž pracujeme, tedy např. typ silnice.

Druhou skupinou jsou metody na bázi grafu (graph-based methods), které se zaměřují především na topologické vztahy komunikací, naopak opomíjejí tematické a geometrické aspekty sítě.

Poslední skupinou algoritmů jsou tzv. „strokes“, které kombinují funkční význam komunikací a vjem čtenáře mapy. Jejich principem je dle Weisse a Weibella (2014) seskupování jednotlivých úseků do větších celků na základě tzv. „good continuation“ principu, tedy tak, aby na sebe pro oko čtenáře mapy „hezky“ navazovaly. Prakticky se toho docílí tak, že se na sebe naváží ty sousedící úseky, jejichž vzájemný úhel se nejvíce blíží 180 °. V dalším průběhu algoritmů se pak vyloučí (resp. ponechají) vždy celé tyto skupiny. Tato metoda ovšem nebere v potaz statistické vlastnosti sítě, jakými je např. proměnlivost hustoty v rámci sítě.

Obr. 2 znázorňuje odebrání části úseků (přerušovaná čára) tak, aby byl dodržen „good continuation“ princip. Úseky označené „aa“ pak dohromady tvoří celek – tzv. „stroke“.



obr. 2: „Good continuation“ princip a „stroke“

zdroj: Weiss, Weibel (2014)

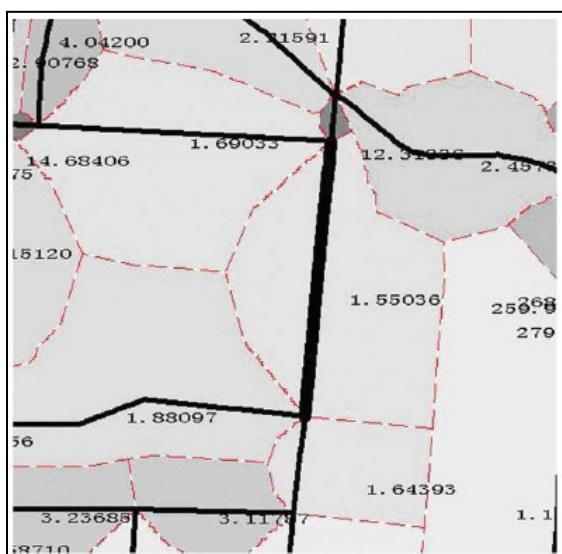
Součástí velké části algoritmů bývá výpočet lokálních hustot silniční sítě, jejichž poměr by měl být v generalizované mapě zachován (Liu, Ai, Liu, 2009). Vyjadřuje se jako podíl celkové délky silnic v určitém území a plochy daného území.

Nejběžněji se využívá metoda mřížky (grid method) rozdělující území na čtverce stejné velikosti; pro každý z nich je vypočítána hustota silniční sítě. Její hlavní nevýhodou je volba velikosti mříže, její pozice a orientace, jež probíhá víceméně náhodně. Navíc se nelze vyhnout tomu, že uměle rozdělí úseky silnic, čímž se ztrácí informace o konektivitě.

Další metodou je metoda fraktální geometrie (fractal geometry), která iterativně dělí území do mřížky s rozdílně velkými čtverci, jež mají podobnou hustotu silnic.

Třetí z používaných metod je výpočet hustot v rámci určitých podoblastí. Výhodou této metody je to, že zde nedochází ke ztrátě topologických informací, ovšem bývají zde opomenuty tematické vlastnosti silniční sítě (Liu, Zhan, Ai, 2010).

Další metody využívají princip Delaunayovy teselace, kdy se nad jednotlivými úseky sítě vytvoří obdoba Voronoiových diagramů. Tento princip využívá např. Liu, Zhan a Ai (2010) nebo Liu, Ai, Liu (2009). Jeho výhodou je to, že nerozděluje jednotlivé segmenty a informace o proměnlivosti hustoty je dostatečně podrobná (obr. 3).



obr. 3: Hustota silniční sítě vypočítaná pro Voronoiovy diagramy

zdroj: Liu, Zhan a Ai (2010)

3.1.3 Praxe používaná v komerční sféře

ArcGIS - Thin Road Network

Software ArcGIS od firmy ESRI nabízí od verze 10 nástroj *Thin Road Network* (*Cartography Tools*), který dle ESRI vytváří zjednodušenou silniční síť, v níž zachovává konektivitu a obecný charakter při zobrazení v menším měřítku (ESRI, 2016). Jako vstupní parametr se zde udává minimální velikost úseku, jehož zobrazení má v daném měřítku mapy ještě smysl, a tzv. hierarchy field, které udává váhu (resp. důležitost) jednotlivých liniových objektů s tím, že může být nastaveno tak, aby byl daný objekt po generalizaci vždy ponechán. ESRI

doporučuje pro každé měřítko určitou minimální délku úseku, ovšem vzhledem k tomu, že je nástroj primárně určen pro silniční síť, jsou tato doporučení nevhodná pro generalizaci cest.

Bewer, Stanislawski a Battenfield (2012) uvádějí jako jednu z nevýhod zmiňovaného nástroje skutečnost, že homogenizuje lokální odlišnosti v hustotě sítě.

GRASS GIS – Network Generalization

Software GRASS GIS nabízí pro výběr liniových prvků v síti algoritmy spadající do skupiny *Network Generalization*, jež se nachází v modulu *v.generalize*.

Výběr prvků sítě lze ovlivnit třemi parametry. Prvním z nich je minimální úhel (*degree_thresh*), který musí dané dvě linie sdílející společný bod svírat. Druhým parametrem je blízkost polohy ve středu (*closeness centrality*), který je zadáván v hodnotách od 0 do 1. Jak uvádí Kremlová (2013), blízkost polohy ve středu (u linií) je v grafově teorii vyjádřena jako minimum součtu vzdáleností linie ke všem ostatním liniím, v případě tohoto parametru uživatel zadává, jaký podíl linií s nejvyšší centralitou chce do generalizované mapy zařadit. Posledním parametrem je středová mezipoloha (*betweenness centrality*). V grafově teorii tento pojem udává, kolik nejkratších cest mezi dvojicí linií prochází danou linií (GRASS Development Team, 2015).

Využívané algoritmy jsou výpočetně velmi náročné, určité nároky jsou vzhledem k udávaným parametrům kladeny i na uživatele.

3.2 Praxe používaná v národních mapovacích agenturách

Jak už bylo zmíněno, v současné české topografické praxi vykonávají výběr úseků cestní sítě ručně operátoři, a to v případě vojenských i civilních map.

3.2.1 Vojenské mapové dílo

Do topografické mapy v největším měřítku, tedy do TM 25, jsou z databáze (DMÚ 25) vybírány všechny evidované cesty (výjimky závisí na uvážení operátora). O jejich generalizaci se tedy dá hovořit od přechodu na měřítko 1 : 50 000 a menší. Pro výběr resp. vyloučení existuje velmi málo psaných pravidel, jež jsou uvedena ve Značkovém klíči pro tvorbu topografických map měřítek 1 : 25 000, 1 : 50 000 a 1 : 100 000. Z typu objektu polní a lesní cesty mají být do map všech měřítek vybrány ty, jež na mapě daného měřítka dosahují

délky alespoň 1 cm, v závislosti na spojovacím významu. Výběrem úseků delších než 1 cm mají být podle klíče generalizovány též stezky a pěšiny. Výběr cest v parcích, sadech a zahrádkářských koloniích závisí výhradně na uvážení operátora (Ministerstvo obrany, 2006).

Z podrobnějšího zkoumání rastrových ekvivalentů topografických map (RETM) bylo vyvozeno, že je během generalizace TM 25 na TM 50 odebrána velmi malá část celkové délky cest, což způsobí zvýšení hustoty cestní sítě v TM 50 oproti TM 25. Toto zvýšení hustoty ovšem nesníží čitelnost mapy, protože i vzhledem k neúplnosti cestní sítě v DMÚ 25 je její hustota v TM 25 nižší, než je hranice pro čitelnost mapy v daném měřítku.

3.2.2 Civilní mapové dílo

Dle Seznamu mapových značek Základní mapy ČR 1 : 25 000 jsou v ZM 25 ponechány všechny udržované polní a lesní cesty nebo hlavní spojovací cesty vedené v datech ZABAGED. Neudržované polní a lesní cesty jsou znázorňovány ve výběru, přičemž jeho hlavním kritériem je jejich spojovací význam. Neznázorňují se především krátké cesty bez spojovacího významu, ty, jež zdvojují spojení apod. Je třeba přihlížet k zachování poměru hustoty cestní sítě na jednotlivých územích. Pěšiny se znázorňují pouze v případě, že představují jediné spojení mezi objekty (ČÚZK, 1993).

4 Popis dat a použitých nástrojů

4.1 Cestní síť v ZABAGED

4.1.1 ZABAGED

Základní báze geografických dat České republiky (ZABAGED) je digitální geografický model území České republiky, jenž je spravovaný Zeměměřickým úřadem ve veřejném zájmu. Databáze obsahuje 120 základních typů geografických objektů, jež jsou dle významu rozčleněny do osmi tematických kategorií (tříd) a popsány více než 350 typy popisných atributů (ZÚ, 2016).

4.1.2 Součásti cestní a silniční sítě

Ze ZABAGED tvoří cestní síť dva typy objektů, a to cesta a pěšina, jež patří do třídy komunikace. Typ objektu pojmenovaný cesta je definovaný jako místní nebo účelová pozemní komunikace vzniklá uježděním pruhu pozemku s případným zlepšením místními zemními pracemi a nahodilou úpravou povrchu nebo vytvořená záměrným provedením nejnutnějších zemních prací s případnou povrchovou úpravou v celé své šířce. Kromě jednoznačného identifikátoru je tento typ objektu popisován atributy jméno a typ cesty, podle něhož se cesty dělí na udržované, neudržované a parkové a hřbitovní. Na obr. 4 je ukázka vrstvy cesta v prostředí ArcGIS.

Cesta							
	FID	Shape *	ID	FID ZBG	TYPCESTY K	TYPCESTY P	JMENO
	465	Polyline ZM	3045	505260	025	cesta neudržovaná	
	466	Polyline ZM	446076	3119215720529920	026	cesta udržovaná	Pozorsko-Račická
	467	Polyline ZM	1093274	3119121835229184	025	cesta neudržovaná	
	468	Polyline ZM	892550	1528906	025	cesta neudržovaná	

obr. 4: Ukázka atributů typu objektu cesta v prostředí ArcGIS

zdroj: ArcGIS; zdroj dat: ČÚZK, 2016

Typ objektu s názvem pěšina je v Katalogu objektů ZABAGED definovaný jako komunikace funkčně a stavebně určená převážně pro pěší provoz. Kromě jednoznačného identifikátoru je zde vedený jediný atribut, a to jméno (obr. 5).

Pesina					
	FID	Shape *	ID	FID ZBG	JMENO
	0	Polyline ZM	21344	3057434394361856	
	1	Polyline ZM	23604	3121669270929408	
	2	Polyline ZM	22164	3121602380169216	
	3	Polyline ZM	21920	3122259912818688	

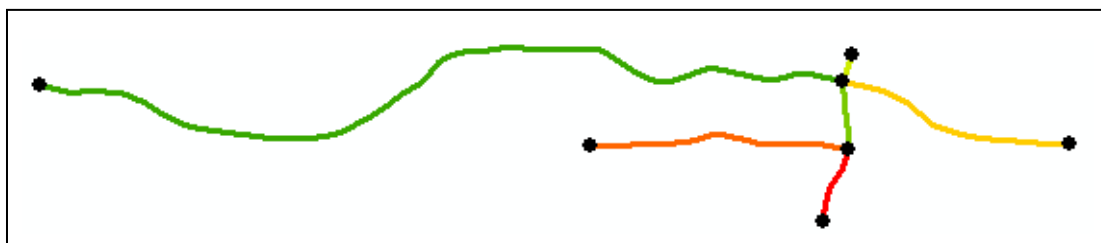
obr. 5: Ukázka atributů typu objektu pěšina v prostředí ArcGIS

zdroj: ArcGIS; zdroj dat: ČÚZK, 2016

Kromě cestní sítě budou v této práci využity též další typy objektů patřící do této třídy, jež tvoří silniční síť. Jedná se o typ objektu silnice, dálnice, dále ulice a silnice neevidované. Jejich atributy nejsou pro práci relevantní, stejně jako atributy typu objektů s názvem budova, blok budov, jenž je posledním typem objektu, který bude v práci použit.

4.1.3 Korektnost propojení jednotlivých typů objektů v rámci sítě komunikací

Základním předpokladem pro korektní práci se sítí komunikací je správné propojení jednotlivých úseků nejen v rámci jednoho typu objektu, ale i mezi více typy objektů navzájem. U žádného ze sledovaných typů objektů popsaných výše nebyla zjištěna nekorektnost v napojení v rámci jedné vrstvy odpovídající jednomu typu objektu. Znamená to, že všechny úseky jsou na sebe navázány (v bodě, kde začíná jeden úsek, končí úsek jiný). V případě křižovatky komunikací se pak všechny „zúčastněné“ segmenty setkávají a zároveň začínají/končí v jednom společném bodě. Příkladem je ukázka vybraných úseků cest, které jsou barevně odlišeny a jejichž konce jsou označeny černou tečkou (obr. 6).

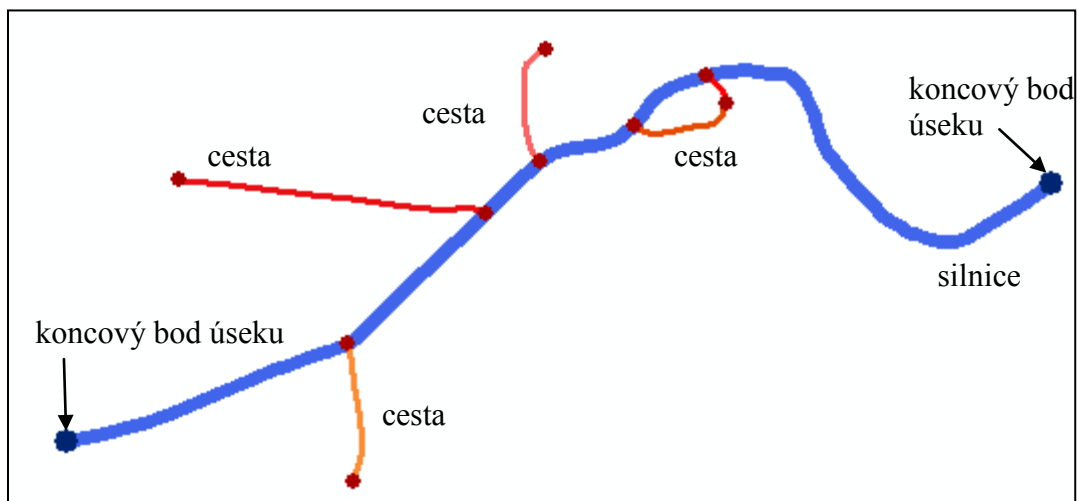


obr. 6: Topologicky korektní síť tvořená cestami

zdroj: autorka; zdroj dat: ČÚZK, 2016

Vzájemné propojení cestní sítě (tedy propojení cest a pěšin) je též korektní, stejně jako napojení cestní sítě na ulice a napojení ulic na silnice. Jediná nekorektnost je pak v případě napojení cest na silnice a pěšin na silnice. V tomto případě je úsek cestní sítě napojen na silnici, aniž by v místě napojení končil/začínal segment silnice. Příkladem je obr. 7, kde je

modře znázorněn úsek silnice (typ objektu silnice, dálnice) včetně jeho krajních bodů a odstíny červené a oranžové barvy pak cesty s červeně vyznačenými krajními body.



obr. 7: Topologicky nekorektní napojení cest na silnici

zdroj: autorka; zdroj dat: ČÚZK, 2016

4.2 Výběr softwaru pro řešení problematiky

Praktická část práce je vytvořena ve formě skriptů napsaných v programovacím jazyce Python, který je v systému ArcGIS využíván mimo jiné pro automatizaci zpracování a analýzy dat, a to prostřednictvím modulu Arcpy (van Rees, 2016).

Vzhledem k tomu, že podstatnou součástí řešení práce tvoří síťové analýzy sloužící jako prostředek k zjišťování konektivity sítě, bylo nutné nalézt způsob, jak je efektivně provádět, a s tím související nástroje, které jsou zároveň kompatibilní s námi používaným softwarem.

4.2.1 Síťové analýzy v Network Analystu

Jako jeden z vhodných nástrojů pro řešení konektivity sítě se jeví nadstavba programu ArcGIS *Network Analyst*, která umožňuje provádět síťové analýzy a dle ESRI (2010) dovoluje uživatelům ArcGIS modelovat reálné podmínky na síti. V této nadstavbě se pro zjišťování konektivity nabízí především nástroj *Cost Matrix*, který vypočítá vzájemné vzdálenosti po síti mezi zadanými body. Podstatnou nevýhodou nástrojů v této nadstavbě je ovšem poměrně velká výpočetní náročnost a z toho vyplývající dlouhý čas trvání analýz.

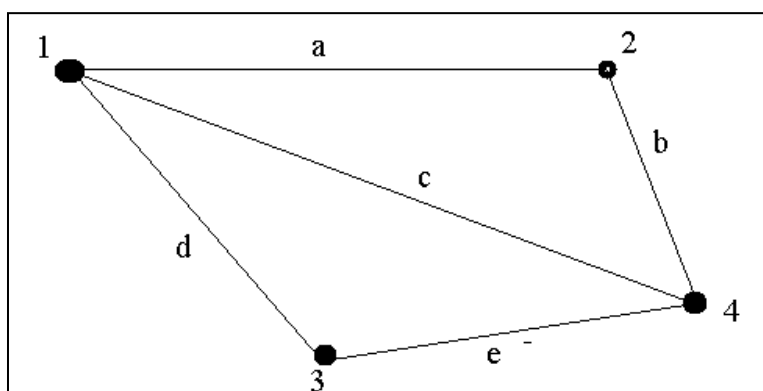
4.2.2 Grafová teorie a její využití nástrojem NetworkX

Další, námi zvolenou, alternativou je vyjádření sítě pomocí grafu a následné využití grafových algoritmů.

Graf je dle Večerky (2007) grafický způsob vyjádření vztahů mezi nějakými objekty. Objekty jsou zde reprezentovány jako tzv. uzly neboli vrcholy (nodes), jejich spojení je pak nazýváno hranou (edge). Existuje mnoho kritérií dělení grafů, pro nás jsou důležitá následující:

Podle toho, zda existuje mezi každou dvojicí bodů propojení (cesta), dělíme grafy na souvislé (spojené), které tuto podmínku splňují, a nesouvislé. U nesouvislých grafů rozlišujeme tzv. komponenty souvislosti (connected components), což jsou subgrafy, u nichž jsou všechny uzly navzájem propojeny.

Pokud jsou hrany grafu ohodnoceny určitým číslem (vahou), pak se jedná o graf vážený. Touto vahou pak v praxi bývá např. délka hrany, příp. průměrná dopravní rychlost, pokud graf znázorňuje silniční síť.



obr. 8: Diagram ilustrující princip tvorby grafu

zdroj: autorka; zdroj dat: ČÚZK, 2016

hrana	vrchol		váha
a	1	2	2,32
b	2	4	5,48
c	1	4	4,25
d	1	3	9,75
e	3	4	6,78

tab. 1: Seznam hran, příslušných vrcholů (uzlů) a vah grafu

zdroj: autorka

Na obr. 8 je diagram zobrazující graf tvořený čtyřmi uzly a pěti hranami. Jedná se o souvislý vážený graf, jehož seznam hran a příslušných vrcholů a vah tvoří tab. 1.

Příklady použitých grafových algoritmů

Dijkstrův algoritmus

Dijkstrův algoritmus je grafový algoritmus sloužící k nalezení nejkratší cesty mezi dvěma zadanými body. Algoritmus byl publikován v roce 1959 nizozemským informatikem E. W. Dijkstrou. Algoritmus je možné použít v případě, že graf neobsahuje hrany se záporným ohodnocením. Princip jeho fungování je popsán v následujících krocích:

1. V prvním kroku je ke každému uzlu přiřazena aktuální vzdálenost od počátečního uzlu, která má v případě samotného výchozího uzlu hodnotu nula, v případě ostatních uzlů nekonečno.
2. Následně jsou všechny uzly označeny jako nenavštívené, výchozí uzel je označen jako aktuální uzel.
3. Dále je u všech nenavštívených uzlů sousedících s aktuálním uzlem vypočítána jejich vzdálenost od počátečního uzlu. Pokud je aktuální vzdálenost menší než dříve zaznamenaná vzdálenost tohoto souseda od počátečního uzlu, pak je přesána touto kratší hodnotou.
4. Aktuální uzel je nyní považován za navštívený.
5. Ten uzel patřící mezi nenavštívené uzly, který má nejmenší aktuální vzdálenost od výchozího uzlu, je vybrán jako aktuální a algoritmus se opakuje od bodu 3.
6. Pokud je cílová destinace označena jako navštívená, nebo je nejmenší aktuální vzdálenost mezi uzly v množině nenavštívených uzlů rovna nekonečnu, algoritmus je ukončen.

Bellmanův-Fordův algoritmus

Bellmanův-Fordův algoritmus hledá, podobně jako Dijkstrův algoritmus, nejkratší cestu mezi dvěma zadanými body, ovšem dokáže pracovat i s grafy, kde jsou hrany ohodnoceny zápornými čísly. Jeho nevýhodou oproti Dijkstrovu je delší výpočetní čas.

Floydův-Warshallův algoritmus

Park (2015) uvádí, že Floydův-Warshallův algoritmus slouží k nalezení nejkratších cest mezi všemi dvojicemi uzlů v grafu. Někdy je místo něj používán Johnsonův algoritmus, který je v řídkých grafech rychlejší.

Prohledávání do hloubky (depth-first search)

Prohledávání do hloubky je grafový algoritmus pro procházení grafů, jehož pomocí můžeme mimo jiné identifikovat ty uzly v grafu, které jsou mezi sebou propojené, tedy ty, které patří do stejné komponenty grafu (Hopcroft, Tarjan, 1973). Pokud všechny uzly patří do stejné komponenty, pak je graf souvislý.

Implementace grafových algoritmů pomocí nástroje NetworkX

NetworkX je volně stažitelný softwarový balíček pro programovací jazyk Python, který umožňuje práci se sítěmi, a to včetně analýzy jejich struktury, složitosti, funkce a podobně (Hagberg, Schult, Swart, 2008).

Nástroje, jež *NetworkX* obsahuje, standardně pracují s grafem. Ten je vytvářen jednoduchým příkazem `nx.Graph()`. Do vytvořeného grafu je třeba vložit hrany, a to pomocí identifikátorů příslušných uzlů (příkaz `G.add_weighted_edges_from`). V případě vážených grafů je s každou hranou do grafu současně vkládána i její váha. Hrany jsou do grafu přidávány ve formě *n*-tic (tuples) nebo tzv. ebunch – v našem případě seznamu *n*-tic (list of tuples).

Každá *n*-tice je v případě váženého grafu tvořena třemi složkami, a to identifikátorem 1. vrcholu hrany, identifikátorem 2. vrcholu hrany a vahou úseku. Hrany do grafu znázorněného na obr. 8 tedy byly vloženy v následující podobě:

`[(1, 2, 2.32), (2, 4, 5.48), (1, 4, 4.25), (1, 3, 9.75), (3, 4, 6.78)]`

Balíček *NetworkX* obsahuje funkce implementující grafové algoritmy, dále např. funkce pro vykreslování sítí, převod grafu do různých formátů (shapefile, GML aj.) a další.

Příkladem jsou následující funkce, které byly využity v našem postupu řešení:

- `has_edge` – slouží k zjištění, zda graf obsahuje zadanou hranu
- parametry: graf, počáteční a koncový uzel hrany
- návratový typ: `bool`

- *is_connected*

- slouží k určení, zda jsou všechny hrany a vrcholy grafu propojeny
- parametry: graf
- návratový typ: *bool*

- *node_connected_component*

- vrací seznam všech vrcholů, které jsou ve stejné komponentě se zadaným vrcholem
- parametry: graf, vrchol
- návratový typ: *list*

- *nx.dijkstra_path_length*

- vrací délku nejkratší cesty mezi dvěma zadanými vrcholy váženého grafu
- parametry: graf, počáteční a koncový vrchol
- návratový typ: *number*

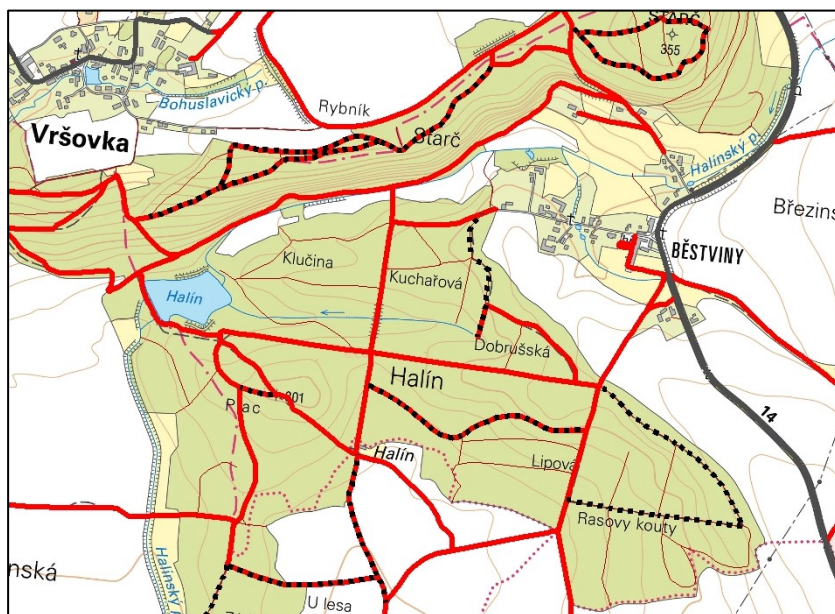
- *edges*

- vrací seznam všech hran v grafu
- parametry: graf
- návratový typ: *list*

5 Metodika

Jak bylo naznačeno v kapitole 3.2, největší nevýhodou postupu generalizace cestní sítě využívaného v současné topografické a kartografické praxi je fakt, že je prováděna ručně, což je náročné časově, finančně i kapacitně.

Zdánlivě snadné a jasné řešení problému nabízí software od společnosti ESRI, a to v podobě nástroje *Thin Road Network*, který je ovšem určen pro generalizaci silniční sítě. Funkčnost nástroje a jeho možné využití pro generalizaci cestní byly ověřeny na datech ZABAGED s využitím následujících typů objektů: cesta; pěšina; silnice neevidovaná a silnice, dálnice; všechny zmiňované objekty jsme zařadili do vstupních dat. Pomocí *hierarchy field* jsme zadali, aby bylo zředění provedeno pouze v rámci cest a pěšin. Minimální délku úseku jsme zvolili 1000 m tak, aby počet ponechaných cest přibližně odpovídal počtu cest v ZM 25. Na obr. 9 je podkladová mapa ZM 10 na ukázkovém území. Červeně jsou vyznačeny cesty, jež nástroj *Thin Road Network* ponechal v mapě. Černými tečkami jsou poté vyznačeny úseky, jimiž se výstup liší od ZM 25 – ty tvoří více než čtvrtinu celkové délky všech cest a pěšin na daném území. Shoda výstupu z nástroje se ZM 25 je 73,68 %, což dává prostor pro zlepšení výsledku.



obr. 9: Odlišnosti ZM 25 a výstupu nástroje *Thin Road Network*

zdroj: autorka; zdroj dat: ČÚZK, 2016, ČÚZK, 2017b

5.1 Pravidla pro výběr cest a pěšin

Jedním z hlavních úkolů práce je formalizovat neurčitá či dosud nesepsaná pravidla, podle nichž kartografové generalizaci cest provádějí. Budeme vycházet z předpokladu, že ji provádějí správně.

Na základě podrobného zkoumání a porovnávání ZM 10 a ZM 25 a následných konzultací s kartografy jsme odvodili níže zmíněná kritéria pro výběr cest při zmenšení měřítka. Kritéria jsou uspořádána v následujících pěti skupinách:

1. Hierarchie a tematický obsah (odpovídá tematickým vlastnostem zmiňovaným v kapitole 3.1.1)
 - a) vždy ponechat cesty zpevněné ve všech měřítkových řadách (odpovídá mapovému klíči TM i ZM – kapitola 3.2.2);
 - b) ponechat spíše cesty, u nichž je v databázi vedeno jméno (pravděpodobně jsou významnější než cesty bez vedeného jména).
2. Slepé úseky – úseky, u nichž alespoň na jeden z konců úseků nenavazuje žádný typ pozemní komunikace (kromě železniční), tedy ani silnice, ulice apod. (odpovídá topologickým vlastnostem sítě zmiňovaným v kapitole 3.1.1). Úsek je ponechán vždy, když je jedinou přístupovou cestou k důležitému objektu; je nutné definovat, které objekty dané databáze mají být považovány za důležité, a dále jejich maximální vzdálenost od komunikace.
3. Úseky, jejichž absence významně neovlivní konektivitu cestní sítě (odpovídá topologickým vlastnostem z kapitoly 3.1.1). Úsek je ponechán, pokud je rozdíl délky alternativní trasy z bodu A do bodu B a délky daného úseku větší než daná mez; body A a B jsou koncové body daného úseku.
4. Hustota cestní sítě v mapě – ideálně by měla být zachována (tedy např. při generalizaci ZM 10 na ZM 25 by měla být celková délka cestní sítě 2,5krát menší) – odpovídá statistickým vlastnostem (kapitola 3.1.1).
5. Grafická stránka a čitelnost mapy – dodržení určité minimální vzdálenosti mezi prvky cestní sítě a ostatními prvky, resp. mezi prvky cestní sítě navzájem – může vést k úpravě geometrie úseků cestní sítě, což ovšem není předmětem řešení v této práci.

Výše zmíněná pravidla se týkají generalizace ZM z měřítka 1 : 10 000 do měřítka 1 : 25 000. Po určité modifikaci by bylo případně možné je použít při generalizaci do map menších měřítek. Pravidla jsou v dalších částech práce zkonkretizována.

Následující část práce seznamuje s konkretizací těchto pravidel, popisuje postup jejich aplikace a implementaci daného postupu s použitím softwaru uvedeného v kapitole 4.2.

5.2 Vlastní postup práce

Hlavní myšlenka navržené metodiky vychází z toho, že by v generalizované mapě měly být ponechány nejvýznamnější úseky cestní sítě, resp. že by nejméně důležité úseky měly být vyřazeny. Využity jsou zde dva principy výběru prvků popsané v kap. 3.1.2. Prvním z nich je výběr založený na typu jednotlivých úseků (semantic-based selection), druhý z nich pracuje na bázi grafu (graph-based method).

Vytvořený algoritmus se opírá především o navrženou metodu analýzy konektivity cestní sítě mezi určenými body, která mimo jiné bere v potaz tematické vlastnosti jednotlivých úseků sítě či lokální hustoty sítě. Je navržena tak, aby zahrnovala pravidla pro výběr cest a pěšin zmíněná v kap. 5.1. Stručný postup práce je popsán v následujících odstavcích.

Nejprve bylo území rozděleno na části, které byly zpracovány nezávisle. Následně byla věnována pozornost hierarchii a tematickému obsahu, kde byly úsekům přiřazeny váhy podle logické důležitosti vyjádřené atributy vedenými v ZABAGED. Těmito atributy bylo především vedené jméno, kde se úsekům s vedeným jménem přikládá vyšší důležitost (a tedy i váha), než těm nepojmenovaným. Druhým atributem byl typ povrchu, kde byla přidělena vyšší váha cestám udržovaným a parkovním a hřbitovním, než cestám neudržovaným. Konkrétní hodnoty vah budou zmíněny v kapitole 5.2.2.

Další krok souvisel zčásti s hierarchií, zčásti pak s konektivitou. Bylo nasnadě pomocí vah vyjádřit to, že slepé úseky, které zároveň nespojují žádné „důležité místo“ se zbytkem sítě, mají mnohem menší význam, než ostatní součásti sítě. Tím „důležitým místem“ byly v našem případě budovy (objekty typu BudovaBlokBudov).

Stěžejní částí řešení této práce byla analýza konektivity sítě. Konektivita byla zjišťována mezi body, jež byly nejprve vytvořeny na místech, jejichž vzájemné propojení jsme považovali za důležité. Jednalo se o skupiny budov a tzv. „důležité křižovatky“, tedy místa, kde se sbíhá co největší počet co nejdůležitějších částí sítě komunikací.

Následně byla podle vlastní metodiky zjišťována konektivita mezi vybranými body, a to formou sumy délky nejkratších spojení mezi všemi těmito body navzájem. Cílem bylo zjistit, do jaké míry každý úsek cestní sítě ovlivňuje její konektivitu. Ty úseky, které ji podle analýzy ovlivňovaly nejméně, byly prohlášeny za ty, jež do generalizované mapy patřit nebudou. Množství těchto vyloučených úseků pak bylo určeno na základě jejich celkové délky, a to s aplikací pravidla o zachování hustoty cestní sítě zmíněného v kap. 5.1. V následujících kapitolách budou jednotlivé kroky popsány podrobněji.

5.2.1 Rozdělení území na samostatné celky

Vzhledem k velkému objemu dat ZABAGED a heterogenitě cestní sítě na našem území jsme se rozhodli provádět generalizaci vždy jen na části našeho území. Jak je popsáno v rešeršní části práce, nabízí se několik možností, jak území rozdělit.

Pro práci bylo vhodné, aby při rozdělení území nedocházelo k rozdělení jednotlivých úseků cestní sítě. Pokud by k tomu došlo, mohlo by docházet k problémům, jako je třeba to, že jedna část segmentu bude při analýze na příslušném území ponechána, zatímco druhá část náležící jiné části území bude z generalizované mapy vyloučena.

Jako vhodné a nejpřirozenější řešení se zde nabízelo rozdělení území na polygony, jejichž hranice tvoří silnice (v ZABAGED tedy vestva SilniceDalnice). Hlavní výhodou tohoto dělení je to, že nebude docházet k rozdělování jednotlivých segmentů sítě.

Implementace

Samotný postup zmiňovaného rozdělení spočíval v tvorbě těchto území (segmentů), tedy v polygonizaci vrstvy SilniceDalnice (pomocí nástroje *Feature To Polygon*) a výběru konkrétního segmentu, jehož ID může uživatel zadávat a měnit v souboru config.py. Následně byly pomocí nástroje *Clip* ořezány vrstvy cestní a silniční sítě podle vybraného území. Ořezána byla též vrstva budov (BudovaBlokBudov), ovšem dvakrát. Jednou byla oříznuta podle vybraného území, jednou pak podle vrstvy daného segmentu s 100m obalovou zónou (*Buffer*). Důvod tohoto přesahu bude přiblížen v kap. 5.2.3.

Postup se nachází ve skriptu *I_generateArea*, jehož výstupem jsou tedy vrstvy cestní a silniční sítě a budov, které se vztahují k uživatelem vybranému území.

5.2.2 Hierarchie a tematický obsah

5.2.2.1 Důležitost úseků daná vedenými atributy ZABAGED

Jak již bylo naznačeno výše, tematické vlastnosti cestní sítě jsou v ZABAGED vyjádřeny pomocí dvou atributů, jimiž jsou jméno, vedené jak u cesty, tak i u pěšiny, a typ povrchu, jenž je veden pouze u cesty. Na základě těchto atributů byly jednotlivé komunikace rozděleny do několika kategorií, jimž byla přidělena určitá hodnota podle jejich důležitosti (tab. 2). Přiřazené hodnoty jsou určeny především k identifikaci jednotlivých kategorií segmentů v dalších částech algoritmu.

kategorie segmentů			hodnota
cesta	parkovní, hřbitovní, udržovaná		100
	neudržovaná	pojmenovaná	10
		nepojmenovaná	5
pěšina	pojmenovaná		3
	nepojmenovaná		1

tab. 2: Váhy jednotlivých kategorií úseků cestní sítě

zdroj: autorka

Implementace

Pro přiřazení zmíněných vah odpovídajícím úsekům byl použit nástroj *Select Layer By Attribute* v kombinaci s nástrojem *Calculate Field* (skript *2_evaluateSegments*).

5.2.2.2 Slepé úseky

Slepé úseky (tedy ty, u nichž na jeden z konců úseků nenavazuje žádný typ pozemní komunikace) ze své podstaty neovlivňují konektivitu, jejich případná absence tedy konektivitu nesníží, mohou být tedy ze ZM 25 vyloučeny. Jedinou výjimkou jsou ty, jež jsou jedinou přístupovou cestou k určitému objektu, jež uživatel mapy považuje za důležitý. V našem případě považujeme za důležité objekty ty, jež náleží do vrstvy *BudovaBlokBudov*, je zde ovšem předpoklad, že uživatel zvolí za důležité objekty i ty, které náleží do jiných vrstev. Bylo nasnadě označit slepé úseky nevedoucí k žádnému objektu považovanému za důležitý a přiřadit k nim váhu -1 , jež naznačuje, že v ZM 25 nebudou zahrnuty.

Implementace

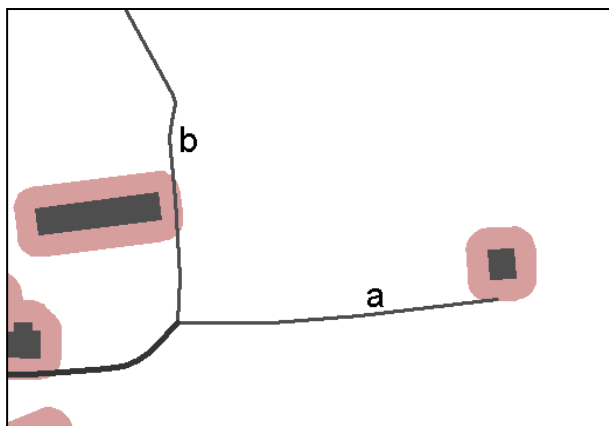
Při výběru slepých úseků byl uplatněn následující postup: Nejprve byly pomocí nástroje *Merge* propojeny do jedné vrstvy všechny komunikace, tedy vrstvy Cesta, Pesina, SilniceDalnice, SilniceNeevidovana a Ulice. Poté byly pomocí nástroje *Feature Vertices To Points*, kde byl nastaven typ bodů jako *Dangle*, vytvořeny body označující slepé konce. Následně již byly pomocí nástroje *Select Layer By Location* vybrány cesty, resp. pěšiny, na nichž se tyto body nacházely, vybrané cesty a pěšiny byly v nově vytvořeném atributu „slepa“ hodnotou 1 označeny jako slepé.

5.2.2.3 Úseky vedoucí k důležitému objektu

V kapitole 5.1 je zmíněno, že je úsek slepé cesty ponechán, pokud je jedinou přístupovou cestou k důležitému objektu. Rozšířením tohoto pravidla je, že každý důležitý objekt by měl být v generalizované mapě propojen s cestní/silniční sítí, pokud byl propojen v mapě původní (příp. databázi). Důvodem je fakt, že uživatel generalizované mapy potřebuje mít informaci, že ke svému případnému cíli (jímž daný objekt může být) může dojít či dojet po cestě.

V našem případě byly za důležitý objekt považovány objekty, jež patří do typu objektů *BudovaBlokBudov*, tato volba ovšem není neměnná a uživatel může zvolit vlastní typy objektů. Jako prostorová tolerance, tedy maximální vzdálenost, kterou může mít cesta od dané budovy, aby byla ještě považována za cestu k ní vedoucí, byla určena hodnota 10 m, a to na základě sledování ZM 10 a ZM 25. Tento parametr může být uživatelem měněn na základě jeho úsudku či požadavků konkrétního mapového díla.

Na obr. 10 je ukázka jediných přístupových cest k budovám. Šedě jsou vyznačeny budovy, růžovou barvou jejich buffery. Cesta označená písmenem a je slepá, ale propojuje důležitou budovu se sítí. Cesta označená písmenem b není slepá (mimo výřez se napojuje na jiné cesty), zároveň je též jedinou cestou, po které se může uživatel mapy dostat k budově. Obě cesty by tedy měly být v generalizované mapě ponechány.



obr. 10: Ukázka jediných přístupových cest k budovám

zdroj: autorka; zdroj dat: ČÚZK, 2016

Podstatou části skriptu *2_evaluateSegments*, věnující se právě identifikaci úseků vedoucích k důležitému objektu (tedy budově), bylo označení úseku cestní sítě, který daný objekt propojuje se zbytkem sítě komunikací. V případě, že k danému objektu vede více úseků patřících do různých tematických kategorií, je označen ten úsek, který je důležitější. Za nejméně důležité se zde považují pěšiny, po nich následují nezpevněné cesty, dále pak cesty zpevněné a nejdůležitější jsou silnice a ulice.

Např. pokud k dané budově vede silnice nebo ulice, pak už v této fázi nebude vybrán žádný úsek patřící do cestní sítě. Pokud k budově nevede silnice, ale vede k ní zpevněná a nezpevněná cesta, pak je označen úsek zpevněné cesty. V případě, že k budově vede pouze pěšina, pak bude tato pěšina vybrána.

Implementace

Postup výběru prvků tvoří poslední část skriptu *2_evaluateSegments*. Nejprve byla vytvořena 10m obalová zóna kolem vrstvy *BudovaBlokBudov*. Poté byly vybrány obalové zóny budov, do nichž zasahovaly zpevněné cesty (nástroj *Select Layer By Location* s prostorovým vztahem *INTERSECT*). Z výběru byly následně odebrány ty buffery, do nichž zasahují silnice a ulice (nástroj *Select Layer By Location* s typem výběru *REMOVE FROM SELECTION*). Z výběru byla vytvořena nová vrstva. Dále byly pomocí nástroje *Select By Location* vybrány cesty, které procházejí vytvořenou vrstvou budov a pomocí nástroje *Calculate Field* jim byla do atributu zachovat připsána hodnota 9999, jež v následujících částech algoritmu slouží pro jejich identifikaci.

Obdobný postup byl aplikován též u nezpevněných cest s tím rozdílem, že z výběru budov protnutých touto vrstvou byly odebrány nejen silnice a ulice, ale i zpevněné cesty. Analogicky pak byly u obdobného postupu v případě pěšin odebrány z výběru budov kromě silnic, ulic a zpevněných cest ještě cesty nezpevněné.

Na obr. 11 je část atributové tabulky popisující jednotlivé úseky cesty náležící našemu vybranému území. Pomocí atributů „slepa“ a „zachovat“ byly kvantitativně ohodnoceny jejich tematické (hierarchické) vlastnosti. Vrstva, kterou tato tabulka reprezentuje, je výstupem skriptu *2_evaluateSegments*.

Cesta_clip								
	FID	Shape *	ID	FID_ZBG	TYPCESTY K	TYPCESTY P	JMENO	zachovat slepa
	6	Polyline ZM	500267	2309022	025	cesta neudržovaná		5 0
	7	Polyline ZM	493356	2408827	026	cesta udržovaná		100 0
	8	Polyline ZM	893530	2306849	025	cesta neudržovaná		5 0
	9	Polyline ZM	1150005	2308835	025	cesta neudržovaná		5 0
	10	Polyline ZM	1167951	3401761452720128	026	cesta udržovaná		9999 0
	11	Polyline ZM	18444	2308575	025	cesta neudržovaná		5 0
	12	Polyline ZM	19044	2308393	025	cesta neudržovaná		5 0
	13	Polyline ZM	478825	2309019	025	cesta neudržovaná		5 0
	14	Polyline ZM	161141	315151345517747	026	cesta udržovaná		9999 1
	15	Polyline ZM	503116	3469171518078976	025	cesta neudržovaná		5 0
	16	Polyline ZM	0		026	cesta udržovaná		-1 1
	17	Polyline ZM	169153	2307088	025	cesta neudržovaná		5 0

obr. 11: Atributová tabulka popisující část výstupu ze skriptu

zdroj: ArcGIS; zdroj dat: ČÚZK, 2016

5.2.3 Zjišťování konektivity

Konektivita patří společně s akcesibilitou mezi metody kvantitativního hodnocení dopravní sítě. Akcesibilita (dostupnost) je ukazatel, který popisuje snadnost pohybu mezi body/uzly v dopravní síti (Xie, Levinson, 2007). Lze ji kvantifikovat např. jako průměrnou vzdálenost každého bodu (uzlu) od ostatních bodů v dané dopravní síti.

Konektivita představuje stupeň intenzity vzájemného propojení dopravních uzlů. Garrison ji definuje jako průměrný počet přímých spojení uzlu s ostatními uzly v síti (Hudeček, 2008). Způsoby, jak ji kvantifikovat, jsou však stále rozpracovávány.

Náš způsob kvantifikace konektivity zčásti přebírá zmíněný princip výpočtu akcesibility, ovšem mezi body vybranými podle určitých kritérií a po síti s délkami úseků modifikovanými podle dalších kritérií.

Je zjevné, že akcesibilita a konektivita spolu v reálu poměrně úzce souvisejí. S klesajícím počtem úseků cestní sítě bude její konektivita i akcesibilita klesat. Vzhledem k tomu, že je

požadováno, aby konektivita a akcesibilita byly v co největší míře zachovány, je nasnadě při generalizaci vylučovat ty úseky, jejichž absence je nejméně sníží.

1) Výběr bodů pro zjišťování konektivity

V našem algoritmu bylo v prvním kroku nutné nalézt body, mezi kterými byla později naše modifikovaná konektivita zjišťována. Oproti principu výpočtu akcesibility zmíněnému výše nepředstavovaly tyto body všechny uzly v síti, ale pouze ty, které jsou považovány za významné, a to z důvodu, že právě významné body v síti chceme mít navzájem co nejlépe propojené. Tuto významnost určuje především množství potenciálních uživatelů cesty, pro které bude dané místo (bod) cílem nebo kteří jím budou alespoň procházet. Tyto body jsme rozdělili na dvě skupiny, a to na body reprezentující skupiny budov a na body reprezentující významné křižovatky. Právě skupiny budov a významné křižovatky považujeme za nejčastější potenciální cíle uživatelů mapy.

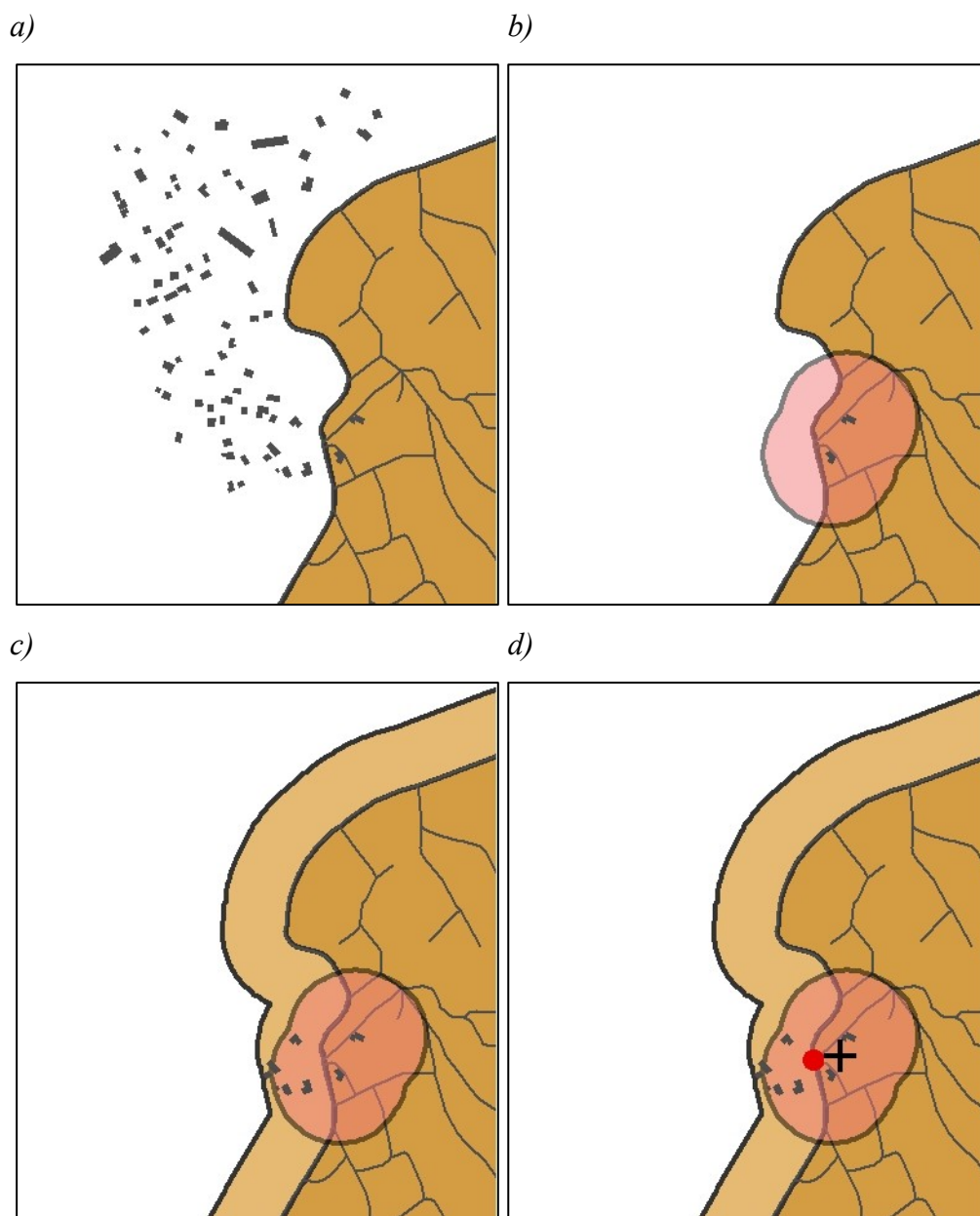
a) Body reprezentující skupiny budov

První skupina bodů byla vymyšlena s úvahou, že je žádoucí, aby byly propojeny obce/sídla/skupiny budov. Právě místa, kde se nacházejí budovy, budou pravděpodobně cílem většiny uživatelů odvozené mapy, je tedy nasnadě vytvořit body, které tato místa reprezentují. Tyto body se nacházejí vždy na křižovatce, která je nejbližší ke středu skupiny budov. Zároveň je nutné určit minimální počet budov, jež danou skupinu tvoří, aby byla tato skupina dostatečně významná a tedy relevantní pro další analýzu. Tento počet byl určen na hodnotu 4.

Implementace

Postup nalezení těchto bodů je sepsán ve skriptu *3_findConnectivityPoints*. Nejprve byly pomocí nástroje *Buffer* vytvořeny 100m obalové zóny kolem budov (oříznutých podle našeho území), v nástroji bylo nastaveno, aby se všechny protínající se polygony sloučily do jednoho (*Dissolve Type – ALL*). Následně byl použit nástroj *Multipart To Singlepart*, aby poté vždy jeden polygon odpovídal právě jednomu objektu.

Dále byly vybrány ty skupiny budov (resp. jejich obalové zóny), v nichž se nacházelo 3 a více budov (napojením vrstvy budov oříznutých podle našeho území se 100m bufferem na vrstvu obalových zón přes *Spatial Join* a následujícím výběrem těch obalových zón, kde byl počet připojených budov - *Join Count* - 3 a více).



obr. 12: Budovy použité k tvorbě bodů pro zjišťování konektivity

a) skupina budov zasahující do vybraného území

b) obalová zóna kolem budov v daném území bez ohledu na budovy mimo něj

c) obalová zóna kolem budov v daném území zahrnující budovy v jejím blízkém okolí

d) výběr bodu reprezentujícího skupinu budov

zdroj: autorka; zdroj dat: ČÚZK, 2016

Důvod, proč byla pro výběr těchto bufferů použita vrstva budov přesahující území, vysvětluje obr. 12. Je zde vykreslena situace, kdy se na území nachází poměrně velká skupina budov zasahující dvěma budovami do našeho území (obr. 12a). Pokud bychom jako budovy

spadajících do vyznačeného bufferu počítali pouze ty oříznuté přesně podle hranic vymezeného území (obr. 12b), pak by do obalové zóny spadaly pouze dvě budovy a pro tuto skupinu budov by nebyl vytvořen reprezentující bod. Obr. 12c ukazuje stejnou situaci se započítáním i těch budov, jež spadají do 100m obalové zóny.

Dalším krokem bylo nalezení středů vybraných obalových zón (*Feature To Point*) a nalezení jím nejbližších křižovatek (obr. 12 d). Zde byly křižovatky určeny jako začátky a konce jednotlivých úseků (*Feature Vertices To Points* s parametrem *BOTH ENDS*), pro výběr těch nejbližších ke středům obalových zón pak byl použit nástroj *Near*. Vrstvě vybraných bodů byl přidán nový atribut „to_spatial“, do které byla vepsána hodnota 9999. Tato hodnota bude v dalším postupu použita jako indikátor toho, že jí označené objekty reprezentují skupiny budov.

b) Body reprezentující významné křižovatky

Myšlenka vzniku skupiny bodů reprezentujících důležité křižovatky vychází z představy, že významnější cesty bude pravděpodobně využívat více lidí, než cesty méně významné. Lze si poměrně lehce představit, že na zpevněné cestě bude vyšší frekvence pohybu, než na pěšině. Stejně tak si lze představit, že slepou cestu, která končí kdesi uprostřed louky, nebude pravděpodobně využívat téměř nikdo, a slepou cestu, vedoucí k jedné budově, bude využívat většinou jen velmi omezený počet osob.

Pokud se na významnějších cestách pohybuje vyšší množství lidí, pak na křižovatkách významnějších cest se jich bude též pohybovat velké množství. Proto právě křižovatky významných cest (a jejich okolí) považujeme za místa, mezi nimiž by měla být zjišťována konektivita.

Významné křižovatky tedy volíme v místech, kde se nachází co největší množství významných cest, a to na základě hierarchických vlastností jednotlivých úseků.

Při hodnocení významnosti cest jsme z velké části vycházeli z rozdělení úseků do kategorií, do nichž jsme komunikace rozdělili na základě atributů vedených v ZABAGED. Toto rozdělení jsme ještě rozšířili o poznatky, zda je daný úsek slepý a zda je jedinou přístupovou cestou k budově. Jednotlivé kategorie komunikací určující významnost křižovatek jsou včetně jejich vah uvedeny v tab. 3.

kategorie komunikací	váha (určující důležitost bodu)
slepá cesta/pěšina	0
slepá cesta/pěšina vedoucí k budově	1
nepojmenovaná pěšina	1
pojmenovaná pěšina	2
nepojmenovaná nezpevněná cesta	4
pojmenovaná nezpevněná cesta	6
zpevněná cesta	8
ulice	12
silnice	16

tab. 3: Váhy jednotlivých kategorií úseků určující „důležité“ křižovatky

zdroj: autorka

Každá křižovatka pak byla ohodnocena součtem vah všech cest, které se nacházely v jejím určitém okolí. Do výběru bodů se dostaly křižovatky, které měly tento součet vah největší a zároveň se nacházely v určité minimální vzdálenosti od ostatních vybraných bodů.

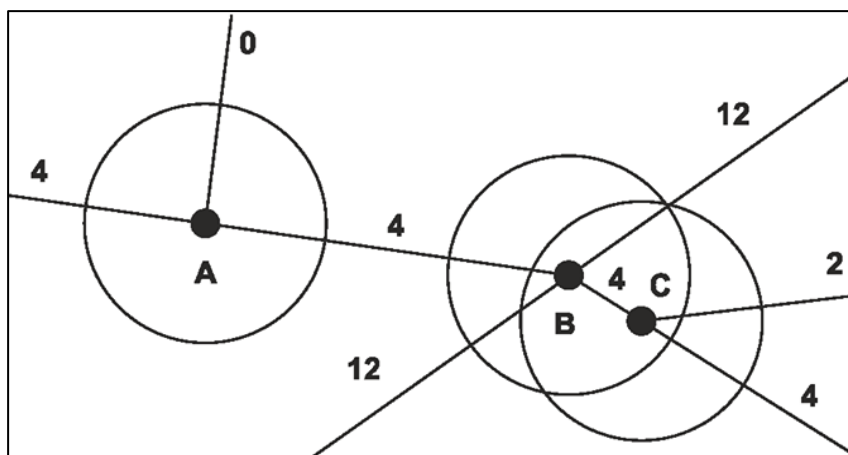
Každému z těchto bodů byla přiřazena určitá váha podle jeho důležitosti v rámci sítě. Za nejdůležitější byly považovány body reprezentující skupinu budov, byla jim tedy přiřazena váha 1,20. U druhé skupiny bodů pak velikost váhy vycházela z již zmíněné myšlenky, že významnost křižovatky (nebo místa obecně) je dána významností cest k ní vedoucích. Výslednou váhu bodu tedy určoval právě součet vah cest, které se nacházely v jejím určitém okolí. Váhy těchto bodů jsou uvedeny v tab. 4.

součet vah okolních cest	váha bodu
0 - 10	1,01
11 - 20	1,02
21 - 30	1,03
31 - 40	1,04
41 - 50	1,05
51 - 60	1,06
61 - 80	1,07
81 - 100	1,08
101 - 150	1,09
150 a více	1,10

tab. 4: Váhy jednotlivých bodů pro určování konektivity určené vahami okolních cest

zdroj: autorka

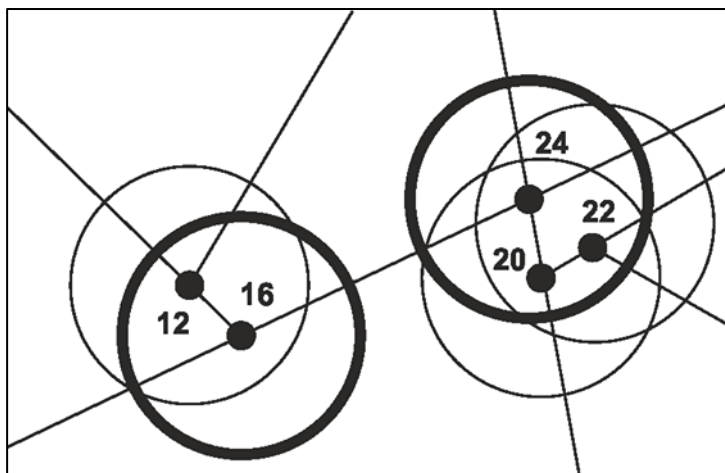
Princip tvorby vah křižovatek ilustruje obr. 13 s částí fiktivní sítě komunikací. Bod A je zde křižovatkou tří úseků s vahami 4, 0 a 4. Součet těchto vah je 8, takže bodu A bude přiřazena váha 1,01. Bod B je sice křižovatkou čtyř úseků s vahami 12, 12, 4 a 4, ovšem do jeho okolí, vyznačeného kružnicí, zasahují ještě 2 úseky s vahami 2 a 4. Součet těchto vah je tedy 38. Totožné úseky zasahují též do okolí bodu C, součet vah je tedy též 38. Bodům B a C je tedy přiřazena váha 1,04.



obr. 13: Hodnocení důležitosti křižovatek

zdroj: autorka

Vybrány jsou ty body, jež mají největší váhu (jsou nejvýznamnější), ovšem zároveň je žádoucí, aby tyto body byly rozprostřeny relativně rovnoměrně, což zajistí volba určité minimální vzdálenosti mezi nimi. Na obr. 14 jsou zobrazeny křižovatky fiktivních cest včetně svých vah. Křižovatky jsou ohraničeny kružnicemi, jejichž poloměr představuje minimální povolenou vzdálenost mezi body pro zjišťování konektivity. Největší váha bodu je zde 24, tento bod je tedy vybrán jako bod pro zjišťování konektivity. Druhou nejvyšší váhou je číslo 22, ovšem bod, který ji má, má příliš malou vzdálenost od bodu, který je už vybrán. Totéž platí i u bodu s vahou 22, takže mezi body pro zjišťování konektivity může být vybrán až bod s vahou 16. Bod s vahou 12 je pak opět příliš blízko již vybranému bodu (s vahou 16), takže ho do výběru nezahrneme.



obr. 14: Princip výběru bodů pro určování konektivity pomocí z důležitých křižovatek
zdroj: autorka

Implementace

Konkrétní postup je součástí skriptu *3_findConnectivityPoints*. Z konců všech úseků byla vytvořena vrstva obsahující pouze křižovatky, a to odebráním bodů identických s vrstvou slepých konců (*Select Layer By Location*). Dále byly kolem křižovatek vytvořeny 200m obalové zóny. Následně byl k vrstvě propojených komunikací přidán nový atribut „to_spatial“, do něhož byly pro každou kategorii komunikace pomocí nástrojů *Select Layer By Location*, *Select Layer By Attributes* a *Calculate Field* vepsány váhy uvedené v tab. 4. Následně byl pro každý buffer kolem křižovatek spočítán součet vah úseků, jež jimi procházely, a to pomocí nástroje *Spatial Join* s parametrem *INTERSECT* spojovacím pravidlem (*Merge Rule*) u pole „to_spatial“ *Sum*. Buffery byly poté pomocí nástroje *Feature To Point* převedeny zpět na body.

Z vytvořených křižovatek, jejichž důležitost byla kvantifikována v atributu „to_spatial“, bylo nyní nutné vybrat ty, jež budou zařazeny mezi body, mezi nimiž bude zjišťována konektivita. Část kódu obsahující tento výběr lze vyjádřit pomocí následujícího pseudokódu:

```
for i in range (0, maximální počet bodů):
    vytvoř vrstvu z křižovatek
    vyber ty body, kde vzdálenost křižovatky od prozatím vybraných bodů pro konektivitu > zadaná mez
    if počet bodů ve výběru == 0:
        break
    z vybraných křižovatek vyber tu, kde to_spatial = max
    připoj vybraný bod k výběru bodů pro konektivitu
```

Maximální počet bodů a minimální vzdálenost mezi body (v pseudokódu označená jako zadaná mez) jsou přednastaveny na hodnotu 50 resp. 300 m, ovšem uživatel je může měnit

v souboru config.py. Tyto hodnoty jsou defaultně nastaveny tak, aby u malých a středně velkých území nebylo dosaženo maximálního počtu bodů a tím pádem byly mezi body pro určování konektivity vybírány i křižovatky s malou důležitostí. V tomto případě budou vybrané body rozprostřeny po celém území. V případě, že uživatel zvolí menší minimální vzdálenost nebo menší počet bodů, pak může být cyklus ukončen dosažením zadaného počtu bodů. Body pak nemusí být rozmístěny rovnoměrně. Omezení počtu iterací je zde především z důvodu časové úspory. Pokud by uživatel zadal u rozsáhlejšího území malou minimální vzdálenost mezi body, pak by byl počet vygenerovaných bodů obrovský, čímž by stoupala výpočetní doba v navazujících fázích výpočtu.

Vybraným bodům, určeným pro zjišťování konektivity, byla na základě hodnoty atributu „to_spatial“ přiřazena váha dle tab. 4, a to pomocí nástrojů *Select Layer By Attribute* a *Calculate Field*. Jednotlivé váhy může uživatel měnit, a to v souboru config.py.

Přestože vytvořený algoritmus automaticky generuje body pro výpočet konektivity, je uživateli umožněno využít vlastní tvorbu bodů pro zjišťování konektivity, případně editovat algoritmem vytvořené body.

2) Princip zjišťování konektivity

Naše konektivita sítě je vyjádřena pomocí sumy modifikovaných vzájemných nejkratších vzdáleností po síti mezi všemi body určenými v předchozí fázi práce. Právě díky modifikaci, popisované dále, jsou do výpočtu konektivity zahrnuty tematické (hierarchické) vlastnosti jednotlivých úseků sítě. Další úpravou těchto modifikovaných vzdáleností se poté zahrnou do analýzy též váhy jednotlivých bodů, mezi nimiž je konektivita zjišťována. Využití vah bodů vychází z úvahy, že důležitá místa by měla být navzájem lépe propojena než místa méně důležitá. Slovo „lépe“ v tomto případě znamená co nejkratší cestou s použitím co nejlépe schůdných úseků cest. U každého úseku je zjišťováno, do jaké míry ovlivňuje konektivitu sítě. Ty úseky, které ji ovlivňují nejméně, jsou ze ZM 25 vyloučeny. Úseky jsou vylučovány postupně, dokud celková délka ponechaných úseků nedosáhne určité meze.

Pro výpočet modifikovaných vzdáleností (délek) byly využity délky jednotlivých úseků celé sítě komunikací vynásobené převrácenými hodnotami určitých konstant, pro něž bylo využito rozdělení úseků cestní sítě do kategorií zmíněných v kapitole 5.2.2, velikosti těchto konstant jsou uvedeny v tab. 5.

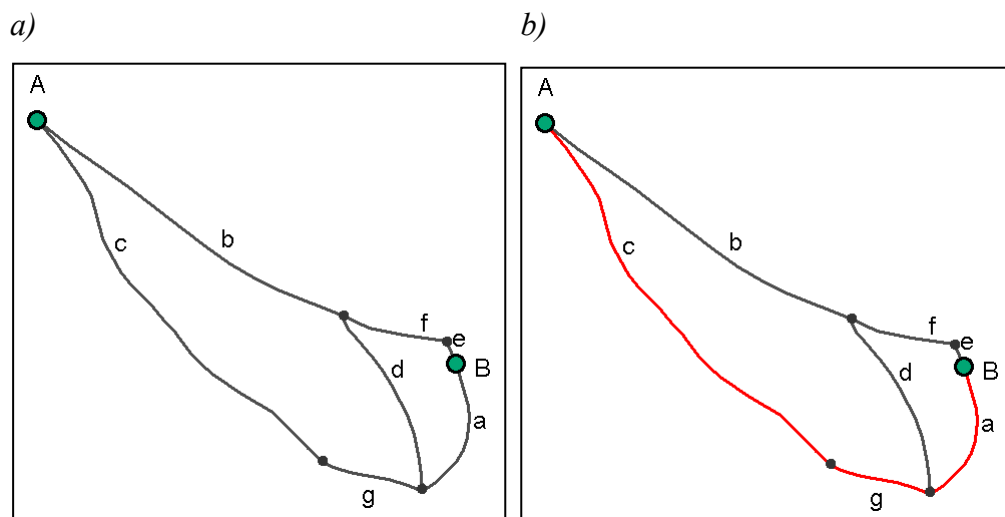
kategorie komunikací	váha pro výpočet konektivity
nepojmenovaná pěšina	1,00
pojmenovaná pěšina	1,02
nepojmenovaná nezpevněná cesta	1,05
pojmenovaná nezpevněná cesta	1,10
zpevněná cesta	1,50
jediná přístupová cesta k budově	2,00
silnice, ulice	2,00

tab. 5: Volba konstant pro jednotlivé úseky použitých při výpočtu konektivity

zdroj: autorka

Uvedené konstanty především kvantifikují důležitost dané kategorie komunikací v rámci sítě, zároveň v některých případech (jako jsou zpevněné vs. nezpevněné cesty) odrážejí potenciální rychlost a snadnost pohybu po komunikaci. Tyto váhy může uživatel libovolně měnit – čím vyšší váhu jednotlivé kategorii přiřadí, tím (v případě cest a pěšin) zvýší pravděpodobnost jejího zařazení do generalizované mapy.

Obr. 15 ilustruje princip volení „nejkratší“ trasy mezi body A a B, v tab. 6 jsou pak zaznamenány délky úseků a-g, váhy příslušné kategorie a váhy konkrétního úseku (délka úseku/váha kategorie).



obr. 15: Princip hledání „nejkratší“ trasy mezi dvěma body

zdroj: autorka

označení úseku	délka (m)	váha kategorie	váha úseku
a	177,05	1,05	168,62
b	434,73	1,05	414,03
c	544,88	2	272,44
d	238,15	1	238,15
e	29,99	1,1	27,27
f	130,70	1,05	124,48
g	124,89	1,05	118,94

tab. 6: Princip hledání „nejkratší“ trasy mezi body

zdroj: autorka

Nejmenší součet vah úseků zde má trasa obsahující úseky c, g, a (obr. 15b), tudíž bude vybrána jako „nejkratší“ spojení mezi body A a B. Tato trasa má modifikovanou délku 560,00.

Myšlenka, že trasa propojující významné body bude významnější než ta, která propojuje body méně významné, vedla k ohodnocení jednotlivých tras (tedy „nejkratších“ propojení dvojic bodů) právě na základě vah bodů, jež propojují. Výsledná modifikovaná délka trasy je tedy původní hodnota modifikované délky trasy vynásobená převrácenými hodnotami vah bodů, jež trasa propojuje. Pokud na obr. 15 bude mít bod A váhu např. 1,06 a bod B váhu 1,20, trasa propojující A a B bude mít hodnotu:

$$560 \cdot \left(\frac{1}{1,06}\right) \cdot \left(\frac{1}{1,20}\right) = 440,25$$

Stejným principem jsou vyhledána a ohodnocena „nejkratší“ spojení mezi všemi dvojicemi bodů, jejich hodnoty poté budou sečteny.

V kapitole 5.1 je zmíněno, že jedním z důvodů pro rozhodnutí, že určitý úsek nebude v generalizované mapě ponechán, je to, že jeho absence významně neovlivní konektivitu cestní sítě. V první řadě je proto vhodné nalézt všechny úseky, jejichž absence nezmění konektivitu. Jedná se o úseky, přes které nevede „nejkratší“ spojení žádné dvojice bodů vybraných pro zjišťování konektivity.

Vzhledem k tomu, že v kapitole 5.1 uvádíme, že při generalizaci ZM 10 na ZM 25 by měla být celková délka cestní sítě 2,5krát menší, bylo v této fázi nutné zkontrolovat, zda celková délka ponechaných hran v grafu odpovídajících cestám a pěšinám není nižší, než požadovaná mez, tedy celková délka všech cest a pěšin vedených v ZABAGED zmenšená

2,5krát. Pokud by tomu tak bylo, pak pravděpodobně nejsou vhodně vybrány body, mezi nimiž bude konektivita zjišťována – buď jich je nedostatečné množství, nebo jsou rozmístěny příliš nerovnoměrně. V případě, že je bodů nedostatek a jsou rozmístěny rovnoměrně, znamená to, že uživatel zadal příliš velkou hodnotu minimální vzdálenosti mezi nimi. V druhém případě byla buď minimální vzdálenost zvolena moc malá, nebo byl zadán příliš nízký počet bodů. V každém případě by měl uživatel alespoň jeden z těchto parametrů změnit a poté spustit výpočet od skriptu č. 3 znovu.

V síti jsou nyní ponechány pouze segmenty, jejichž případná absence konektivitu sníží (tedy zvýší sumu vzájemných vzdáleností mezi dvojicemi bodů). To, jak moc absence jednotlivých úseků ovlivní konektivitu, je možné zjistit tak, že daný úsek odstraníme ze sítě, spočítáme sumu vzájemných modifikovaných vzdáleností mezi dvojicemi bodů v takto modifikované síti a poté ho opět do sítě začleníme. Takto postupujeme u každého úseku cest a pěšin. Ten úsek, při jehož absenci je suma vzájemných modifikovaných vzdáleností nejvyšší, vymažeme, protože nejméně ovlivňuje konektivitu.

Předešlý postup opakujeme, ovšem na síti ochuzené o vymazaný úsek. Podle stejných kritérií vyloučíme další úsek a tento postup opakujeme. Ve chvíli, kdy je součet délek dosud nevyloučených úseků cest a pěšin menší než stanovená mez (tedy celková délka původní cestní sítě/2,5), je výběr cest a pěšin dokončen a pozůstalé úseky cest a pěšin prohlásíme za ty, jež chceme do ZM 25 zařadit.

Implementace

Pro zjišťování konektivity, resp. výpočet sum modifikovaných vzdáleností všech dvojic bodů, byly využity některé algoritmy z balíčku *NetworkX*. Nejprve však musela být data upravena tak, aby z nich mohl být vytvořen graf, který pak tyto grafové algoritmy používají.

a) úprava dat

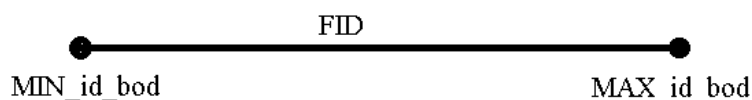
Úpravu dat před samotným vytvořením grafu zajišťuje skript *4_editData*. Nejprve byl ke krajním bodům všech úseků přidán atribut sloužící k jednoznačné identifikaci bodu, s hodnotami 0, 1, 2, ..., n . Následně byl opakovaně využíván nástroj *Spatial Join* k připojení identifikátorů každého z krajních bodů k příslušnému úseku. Dále byla spočítána délka každého úseku, jež byla následně vynásobena převrácenou hodnotou příslušné váhy uvedené v tab. 5.

Obr. 16 ilustruje výslednou podobu dat připravených pro tvorbu grafu. Obr. 16a ukazuje část atributové tabulky se zaznamenaným číslem (identifikátorem) úseku (*FID*), jeho dvěma krajními body (*MAX_id_bod* a *MIN_id_bod*), délkou a vahou pro zjišťování konektivity. Jeden úsek je pak ukázán na obr. 16b.

a)

sit_body_both_ends					
	FID	MIN id bod	MAX id bod	delka	vaha
	0	7	14	148,316188	74,158094
	1	99	107	99,225843	94,500803
	2	30	59	810,204899	540,136599
	3	113	137	332,070643	316,257755
	4	146	153	171,943235	163,755462
	5	103	117	244,669308	233,018389
	6	136	139	177,793914	169,327538
	7	257	264	66,325645	44,217097
	8	246	250	47,636736	45,36832
	9	117	153	343,414024	327,060975
	10	53	60	171,392512	85,696256
	11	101	109	82,698154	78,760146
	12	234	253	147,235026	140,223834

b)



obr. 16: Data zpracovaná pro přípravu grafu

b) tvorba grafu

Dalším krokem byla samotná tvorba grafu. Nejprve bylo nutné vytvořit seznam *n*-tic znázorňujících jednotlivé hrany grafu. Ten byl vytvořen pomocí *search cursoru*, jenž byl aplikován na vrstvu vytvořenou ve skriptu *4_editData*, a který postupně do každé *n*-tice zapsal hodnoty atributů s identifikátory obou hran úseku hodnotu atributu s jeho vahou.

Dále byl pomocí příkazu *G = nx.Graph()* vytvořen nový graf, kam byly posléze pomocí příkazu *G.add_weighted_edges_from* přidány hrany odpovídající jednotlivým úsekům sítě.

V následujícím kroku byla pomocí algoritmu *nx.is_connected* provedena kontrola toho, zda je graf souvislý, tedy zda jsou všechny úseky v síti propojeny. V případě, že by tomu tak nebylo, byla by síť považována za topologicky nekorektní, uživatel byl vyzván, aby ji opravil a skript by byl přerušen.

c) identifikace bodů pro zjišťování konektivity

Z vrcholů grafu byly vybrány ty, které byly zároveň určeny jako body, mezi nimiž má být zjišťována konektivita. Identifikátory těchto hran byly zjištěny napojením (*Spatial Join*) vrstvy bodů určujících vrcholy grafu na vrstvu bodů vytvořených pro zjišťování konektivity.

d) odstranění hran grafu neovlivňujících konektivitu sítě

Dalším dílčím úkolem bylo zjistit, které úseky tvoří nejkratší spojení mezi všemi dvojicemi bodů a vyloučit ty, které je netvoří a jejichž absence tím pádem naši konektivitu neovlivní.

Pro tyto účely byl vytvořen nový graf (*G_rem*) s identickými hranami, jako má graf předchozí. Z něj poté byly postupně odebírány hrany, které byly součástí některého z nejkratších spojení bodů. Tato část našeho algoritmu je pseudokódem popsána následovně:

```
for i in range (0, počet bodů pro konektivitu):
    for j in range (0, počet bodů pro konektivitu):
        if i<j:
            vrcholy = nx.dijkstra_path(G, bod pro konektivitu [i], bod pro konektivitu [j]) // id uzlů v nejkratší trase
            počet hran = len(vrcholy) - 1 //počet hran v nejkratší trase
            for k in range (0,počet hran):
                if G_rem.has_edge(vrcholy[k],vrcholy[k+1]) // obsahuje graf hranu s danými vrcholy?
                    G_rem.remove_edge(vrcholy[k],vrcholy[k+1]) // smazání hrany
```

Graf *G_rem* nyní obsahoval hrany neovlivňující konektivitu. Z prvního vytvořeného grafu *G* jsme odstranili všechny hrany, které zároveň obsahoval druhý vytvořený graf, a to pomocí příkazů *G_rem.edges()* a *G_rem.remove_edges_from*.

Následně bylo nutné zjistit, zda je celková délka úseků odpovídajících ponechaným hranám grafu dostatečná, tedy rovna celkové délce cestní sítě daného území vedené v ZABAGED snižené 2,5krát.

K tomu bylo nutné nejprve z vrstvy kompletní sítě komunikací, z níž byl na počátku skriptu *5_connectivityAnalyses* tvořen seznam *n-tic*, vybrat ty úseky, které představovaly cesty a pěšiny (*Select Layer By Location*). Z nich byly poté vytvořeny pomocí *search cursoru* dva seznamy *n-tic*; *n-tice* prvního seznamu obsahovaly identifikátory hran úseků a jejich váhy, *n-tice* druhého seznamu pak místo vah obsahovaly délky úseků. Do seznamů byly vybírány ovšem jen ty *n-tice*, které zároveň odpovídaly hranám našeho grafu.

Délka vybraných cest pak byla spočítána příkazem jako součet 3. členů n -tice se zaznamenanými délkami. Následně byla aplikována následující podmínka:

if délka vybraných cest a pěšin < celková všech cest a pěšin / 2.5:

```
print "Pridejte, prosim, vice bodu pro zjistovani konektivity a spustte znovu od skriptu c. 3"
sys.exit()
```

e) postupné vylučování úseků nejméně ovlivňujících konektivitu sítě

Postup vylučování těch úseků, jejichž absence nejméně sníží konektivitu, je zkráceně demonstrován následujícím pseudokódem.

for x in range (0,počet úseků cest a pěšin):

vysledek = [], suma vzdálenosti = 0

for h in range (0, počet úseků cest a pěšin):

suma_vzdalenosti = 0

e = úseky cest[h]

G.remove_edges_from([e]) //odebrání h-te hrany grafu

connected_comp = nx.node_connected_component(G, vybrany_bod_1) //všechny propojené vrcholy

if set(bod pro konektivitu) < set(všechny uzly patrici do jedne komponenty): //graf je propojeny

for i in range (0, počet bodů pro konektivitu):

for j in range (0, počet bodů pro konektivitu):

if i<j:

vzdálenost = nx.dijkstra_path_length(G,bod pro kon. [i],bod pro kon.[j]) * (1 / vaha_spoje[i]) * (1 /
vaha_spoje[j])

součet vzdáleností = součet vzdáleností + vzdálenost

suma vzdáleností dvojice = [součet vzdáleností, h]

else: // graf není propojeny

suma vzdáleností dvojice = [99999999,h] // zajištění toho, že usek h nebude smazán

suma vzdáleností.extend([suma vzdáleností dvojice]) // zápis výsledku do seznamu

G.add_weighted_edges_from([e]) //přidání hrany zpět

najdi ID hrany s minimální vzdáleností

if ID hrany == 99999999 // přerušení cyklu, pokud jsou v grafu ponechány už jen úseky nutné pro propojení
bodů

break

vymaž hranu ze seznamu n-tic a z grafu

Důležitou roli ve výše popsaném algoritmu hraje zjišťování, zda vynechání daného úseku nerozdělilo graf. Výsledný graf musí být souvislý (stejně jako musí být výsledná cestní síť

propojená), proto musí být ošetřeno, aby hrana nezbytná pro zachování souvislosti grafu nebyla smazána.

To, zda je graf souvislý i po vynechání daného úseku, je zjišťování pomocí nalezení všech vrcholů náležících jedné komponentně souvislosti, které musí zároveň odpovídat všem vrcholům grafu. Pokud tomu tak není, je suma modifikovaných délek nahrazena číslem s hodnotou 99999999, která zaručuje, že hrana bude v grafu vždy ponechána. V opačném případě je suma modifikovaných délek počítána pomocí Dijkstrova algoritmu.

Následně bylo zajištěno, aby cyklus běžel, dokud je délka ponechaných úseků cest a pěšin větší nebo rovna celkové délce všech cest a pěšin. Tento krok bude podrobněji vysvětlen v kapitole 5.2.4.

```
if délka ponechaných úseků < celková délka všech úseků / 2.5:
```

```
    break
```

f) označení ponechaných cest a pěšin v ArcGISu na základě výstupu z analýzy konektivity

Jedním z posledních kroků v našem algoritmu bylo označení vrstvy cest a pěšin, které mají být na základě výsledků zjišťování konektivity ponechány. Jedná se o úseky, jež jsou zachovány v grafu i po ukončení cyklu a zároveň jsou v ZABAGED vedeny jako cesty/pěšiny. Tyto úseky jsou vybrány následujícím způsobem:

```
for i in range (0,počet hran):
```

```
    query = id uzlu 1 ve vrstvě = id uzlu v grafu 1[i] AND id uzlu 2 ve vrstvě =id uzlu v grafu 2[i]
```

```
    arcpy.management.SelectLayerByAttribute("vrstva bodů","ADD_TO_SELECTION",query)
```

Vybrané segmenty už byly pouze ohodnoceny číslem 1 v nově vytvořeném atributu „ponechat“ a z vrstvy cest a pěšin poté pomocí nástroje *Select Layer By Location* vybrány a ve stejnojmenném atributu číslem 1 označeny jejich odpovídající úseky. Číslem 1 pak byly ještě označeny ty úseky cest a pěšin, které měly původně po implementaci kartografických pravidel hodnotu 9999, která značila, že byly jedinou přístupovou cestou k budově.

5.2.4 Zachování hustoty cestní sítě

Posledním pravidlem, jehož implementace již byla zmíněna v předešlé kapitole, je to, že hustota cestní sítě má být v generalizované mapě zachována. Ze vzorečku vyplývá, že pokud:

$$\text{hustota}_{25} = \text{hustota}_{10} ,$$

pak:

$$\frac{\text{delka}_{25}}{\text{plocha}_{25}} = \frac{\text{delka}_{10}}{\text{plocha}_{10}} ,$$

tedy:

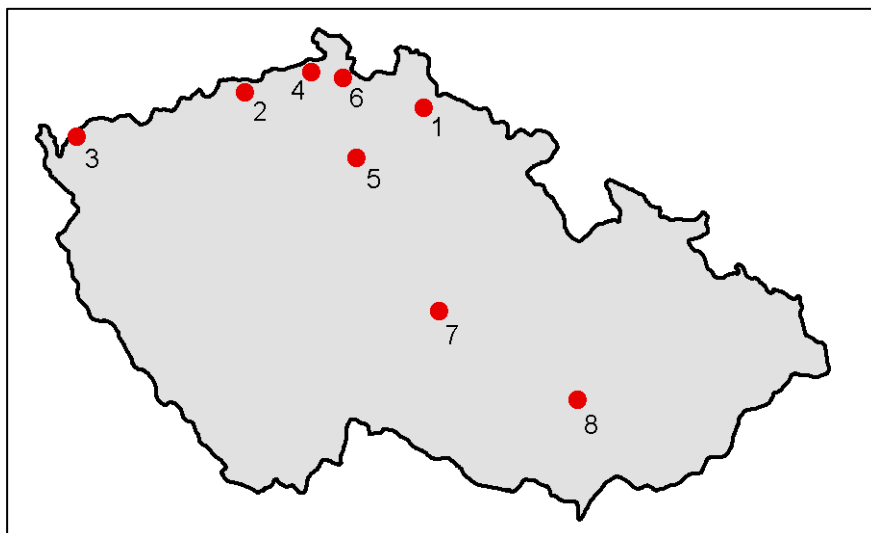
$$\text{delka}_{25} = \frac{\text{delka}_{10}}{\text{plocha}_{10}} \cdot \text{plocha}_{25} = \frac{\frac{\text{delka}_{10}}{2,5}}{\text{plocha}_{25}} \cdot \text{plocha}_{25} = \frac{\text{delka}_{10}}{2,5} ,$$

kde delka_{25} označuje délku cestní sítě v ZM 25, delka_{10} značí délku cestní sítě v ZM 10, plocha_{25} je rozloha území v ZM25, plocha_{10} značí rozlohu území v ZM 10, hustota_{25} označuje hustotu cestní sítě v ZM 25 a hustota_{10} je hustota cestní sítě v ZM 10.

V případě generalizace ZM 10 na ZM 25 by tedy měla být celková délka cestní sítě snížena 2,5krát. Právě dosažení této délky bylo ukončovacím podmínkou analýzy konektivity, tedy když délka úseků cest a pěšin vybraných pro ZM 25 přesáhla 2,5krát sníženou délku všech cest a pěšin, zastavil se cyklus, další úseky již nebyly z grafu odebírány a všechny pozůstalé úseky byly považovány za vybrané do ZM 25. Podrobnější struktura a parametry jednotlivých skriptů jsou popsány v příloze 1.

5.3 Testování vytvořených skriptů

Cílem testování vytvořených skriptů bylo zjistit, do jaké míry se výstupy z navrženého algoritmu shodují s ruční prací kartografů ze ZÚ. Testování probíhalo na osmi územích, která jsou na obr. 17 vyznačena červenou tečkou.



obr. 17: Modelová území vybraná pro testování vytvořeného algoritmu

zdroj: autorka; zdroj dat: ČÚZK, 2016; ESRI, 2013

Postup tvorby testovaných území vycházel z dělení našeho státu na samostatné celky (viz kap. 3.2.1), z vygenerovaných celků byly vybírány ty, které byly rozdílného charakteru, a to především co se týče hustoty cestní a silniční sítě a celkové rozlohy. Seznam těchto typů území je součástí tab. 6.

typ území	ID území	rozloha (km ²)	hustota cest (km/km ²)	hustota cest + silnic (km/km ²)
1. malá rozloha, vysoká hustota	1	2,29	5,16	10,25
	2	2,44	4,78	10,34
2. středná rozloha, vysoká hustota	3	7,11	7,19	9,11
	4	9,85	7,28	9,54
3. velká rozloha, nízká hustota	5	17,32	1,02	2,89
4. velká rozloha, vysoká hustota	6	14,36	5,57	7,22
	7	11,00	4,88	7,40
5. velmi velká rozloha, vysoká hustota	8	81,08	6,88	8,15

tab. 6: Modelová území vybraná pro testování vytvořeného algoritmu

zdroj: autorka; zdroj dat: ČÚZK, 2016

Samotné testování probíhalo formou statistického zhodnocení, kdy byla míra shody, resp. neshody výstupů z našeho algoritmu a práce kartografů vyjádřena pomocí chybových matic, kde byly zaznamenány procentuální podíly délek jednotlivých variant shody a neshody výstupů z algoritmu se ZM 25.

Tvorba chybových matic pro jednotlivá testovací území probíhala následujícím způsobem. Nejprve byly identifikovány všechny úseky cest a pěšin, které se nacházejí v ZM 25. Následně byla spočítána délka všech úseků cest a pěšin ponechaných v ZM 25 a zároveň ponechaných naším algoritmem. Dále byla změřena délka všech úseků, které byly algoritmem vybrány, ale v ZM 25 ponechány nebyly. Poté byla změřena celková délka všech úseků, které byly v ZM 25 ponechány, ovšem algoritmem vybrány nebyly. Nakonec byla změřena celková délka všech úseků cest a pěšin, které nebyly do ZM 25 zařazeny kartografy, ani navrženým algoritmem. Tyto délky byly zapsány do chybové matice, jíž ilustruje tab. 7.

ZM 25 – ano, algoritmus – ano	ZM 25 – ne, algoritmus – ano
ZM 25 – ano, algoritmus – ne	ZM 25 – ne, algoritmus ne

tab. 7: Chybová matice

zdroj: autorka; zdroj dat: ČÚZK, 2016

Tab. 8a ukazuje konkrétní příklad tvorby této chybové matice. V tab. 8b jsou zaznamenány údaje v chybové matici zapsané v procentech, vyjadřujících podíl délky vybraných úseků a délky všech hodnocených úseků.

a)

	ZM 25		
algoritmus		ano (m)	ne (m)
	ano (m)	4203,15	1235,98
	ne (m)	930,95	1508,18

b)

	ZM 25		
algoritmus		ano (%)	ne (%)
	ano (%)	53,35	15,69
	ne (%)	11,82	19,14

tab. 8: Příklad chybové matice

a) v metrech

b) v procentech

zdroj: autorka

Součet hodnot na diagonále v tab. 8b je 72,49 %, což odpovídá procentu shody ZM 25 a výstupu námi vytvořeného algoritmu.

V následující části práce jsou vyhodnoceny výsledky testování. Pro ilustraci jsou u některých území tyto výsledky vizualizovány, a to tak, že jsou červenou barvou vyznačeny úseky cestní sítě, kde se náš algoritmus shoduje se ZM 25 v tom, že jsou úseky ponechány, růžovou barvou ty, jež jsou našim algoritmem i kartografy ze ZÚ vyřazeny ze ZM 25, modře ty, které by na rozdíl od kartografů náš algoritmus do ZM 25 zařadil a azurově pak ty, které jsou v ZM 25 ponechány, ovšem náš algoritmus by je vyřadil (obr. 18). Pro dokreslení situace je pak v obrázcích šedou barvou zobrazena vrstva budov, silnic a ulic. Všechna území jsou zobrazena v měřítku 1 : 40 000.

—	ZM 25 - ano, algoritmus - ano
—	ZM 25 - ne, algoritmus - ne
—	ZM 25 - ne, algoritmus - ano
—	ZM 25 - ano, algoritmus - ne

obr. 18: Barevné vyjádření shody algoritmu se ZM 25

zdroj: autorka

Typ 1 – malá rozloha, velká hustota komunikací

Prvním typem území byla ta, jež mají poměrně malou rozlohu a velkou hustotu silniční a cestní sítě. Reprezentují ho zde dvě území. První z nich má kromě výše zmíněných vlastností výrazně protáhlý tvar, velkou část sítě komunikací zde tedy tvoří silnice. Budovy jsou zde rozmístěny podél zhruba poloviny délky hranic.

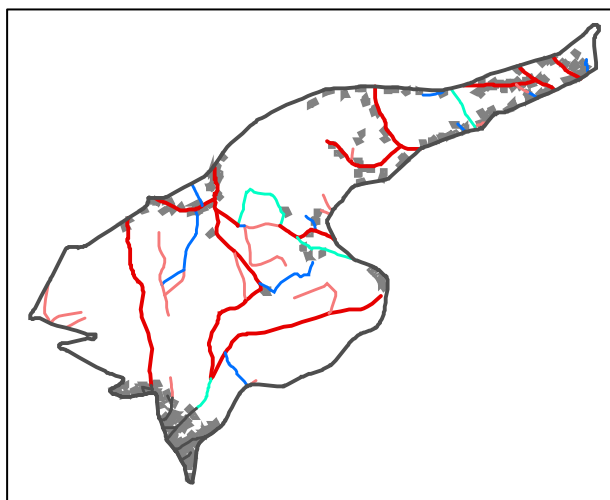
Jak lze vyčíst z tab. 9, tab. 10, obr. 19 a obr. 20, u prvního území se ve třech čtvrtinách celkové délky algoritmus shoduje s kartografií.

U prvního z území (tab. 9, obr. 19) je celková délka cest a pěšin ponechaných algoritmem o necelá 4 % menší než u ZM 25. Podíl na neshodě mají některé slepé cesty, jež byly algoritmem vyhodnoceny jako jediné přístupové k budovám – ty byly vytvořeným algoritmem ponechány vždy, zatímco v ZM 25 jen v některých případech. Možnou příčinou této neshody je příliš velká obalová zóny kolem budov zmíněná v kap. 5.2.2.3.

	ZM 25			shoda (%)
algoritmus		ano (%)	ne (%)	
	ano (%)	50,16	14,14	
	ne (%)	10,71	24,99	
shoda (%)				75,15

tab. 9: Chybová matice u modelového území 1

zdroj: autorka; zdroj dat: ČÚZK, 2016



obr. 19: Vizualizace shody navrženého algoritmu a ZM 25 u modelového území 1

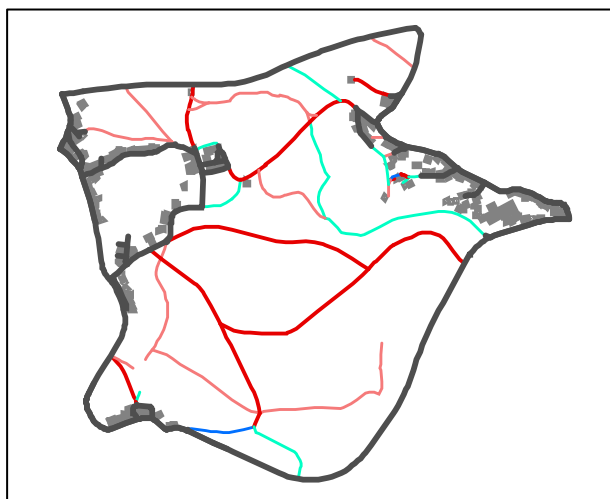
zdroj: autorka; zdroj dat: ČÚZK, 2016

U druhého ze zmiňovaných území (tab. 10, obr. 20) je zcela zřejmé, že se ZM 25 s algoritmem výrazně rozchází především v celkové délce vybraných úseků s tím, že v ZM 25 je tato hodnota o téměř 20 % vyšší. Podobné zastoupení má tedy délka cest, které byly kartografy na rozdíl od algoritmu ponechány. Tento rozdíl je způsoben pravděpodobně nízkou náplní mapy, díky níž bylo možné ponechat vyšší hustotu cest, aniž by byla snížena čitelnost mapy. Naopak úseky, které byly algoritmem na rozdíl od ZM 25 ponechány, tvoří mizivou část celkové délky cest a pěšin.

	ZM 25			shoda (%)
algoritmus		ano (%)	ne (%)	
	ano (%)	39,22	2,95	
	ne (%)	21,47	36,36	
shoda (%)				75,58

tab. 10: Chybová matice u modelového území 2

zdroj: autorka; zdroj dat: ČÚZK, 2016



obr. 20: Vizualizace shody navrženého algoritmu a ZM 25 u modelového území 2

zdroj: autorka; zdroj dat: ČÚZK, 2016

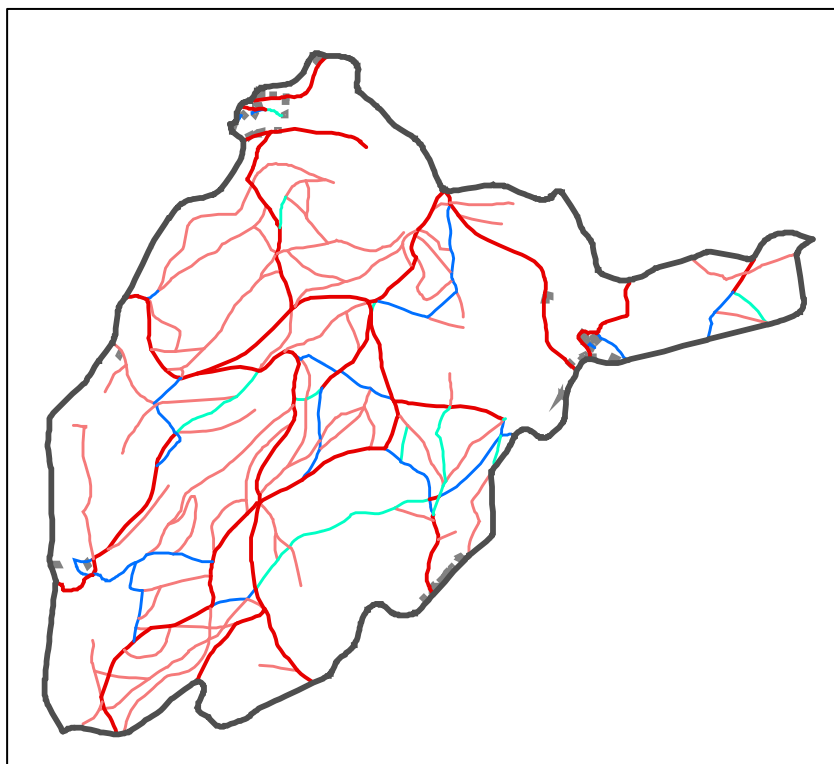
Typ 2 – střední rozloha, velká hustota

Další typ území, reprezentovaný též dvěma testovacími polygony, má vysokou hustotu a vyšší celkovou rozlohu, jejíž hodnota se nachází zhruba ve třetině nejvyšších rozloh. První území (tab. 11 a obr. 21) má o něco menší rozlohu, než území druhé, do druhého území (tab. 12 a obr. 22) pak zasahuje o něco více budov, než do území prvního. Drtivá většina rozlohy je u obou z nich tvořena lesem.

	ZM 25			shoda (%)
algoritmus		ano (%)	ne (%)	
	ano (%)	31,50	12,26	
	ne (%)	6,66	49,58	
shoda (%)				81,08

tab. 11: Chybová matice u modelového území 3

zdroj: autorka; zdroj dat: ČÚZK, 2016



obr. 21: Vizualizace shody navrženého algoritmu a ZM 25 u modelového území 3

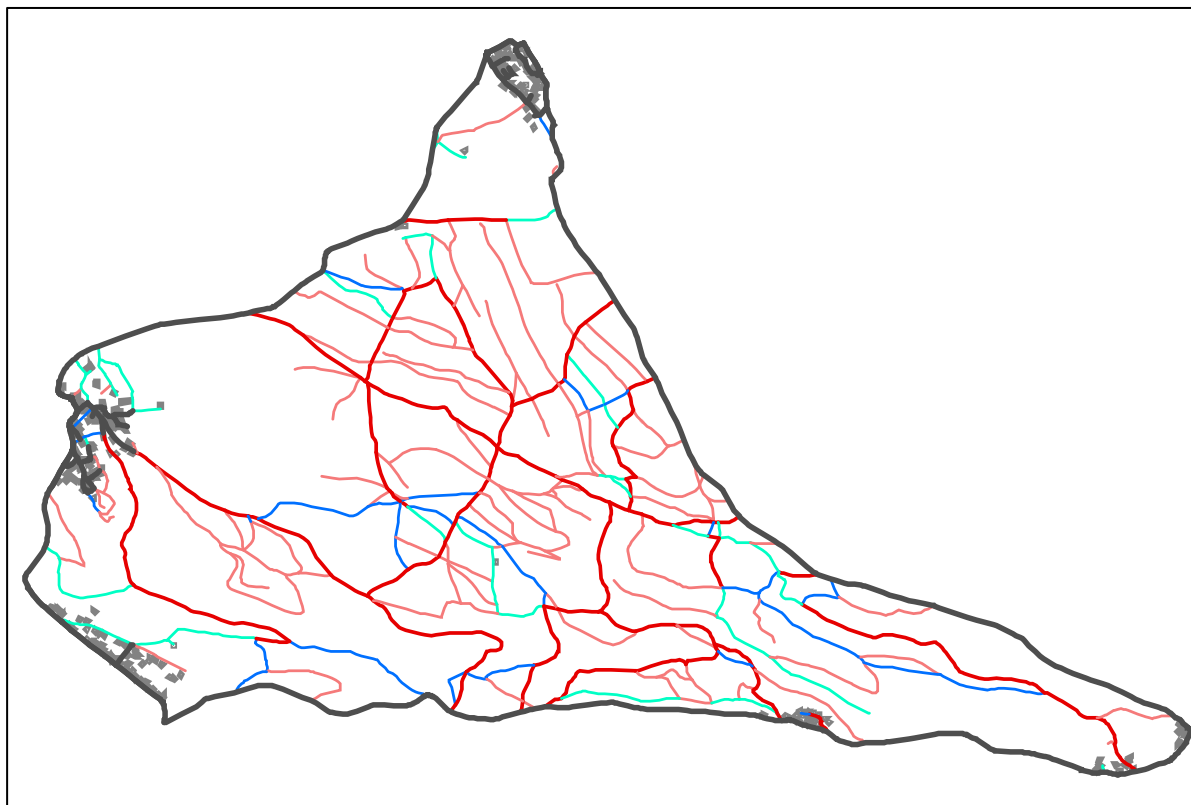
zdroj: autorka; zdroj dat: ČÚZK, 2016

U prvního území (tab. 11, obr. 21) vykazuje náš algoritmus shodu se ZM 25 přes 80 %. Jednou z příčin neshody je to, že algoritmus ponechal vyšší procento celkové délky cest. To je zčásti způsobeno velkou hustotou sítě v některých částech území, díky níž kartografové ze ZÚ vyloučili více než 2,5násobek celkové délky cest. Příčinou toho, že navržený algoritmus naopak vyloučil méně než 2,5násobek celkové délky cest, může být příliš velký počet bodů, mezi nimiž byla zjišťována konektivita.

	ZM 25			shoda (%)
algoritmus		ano (%)	ne (%)	
	ano (%)	28,12	12,77	
	ne (%)	13,27	45,84	
shoda (%)				73,96

tab. 12: Chybová matice u modelového území 4

zdroj: autorka; zdroj dat: ČÚZK, 2016



obr. 22: Vizualizace shody navrženého algoritmu a ZM 25 u modelového území 4

zdroj: autorka; zdroj dat: ČÚZK, 2016

U druhého území (tab. 12, obr. 22) je shoda algoritmu se ZM 25 o cca 9 % nižší. Ponechána byla téměř shodná celková délka úseků. Výraznou část cest, kde se algoritmus se ZM 25 neshoduje, tvoří zpevněné cesty navazující na části obcí, z nichž byla v případě levé části obr. 20 většina algoritmem vyřazena. Možnou příčinou je fakt, že v algoritmu je jakkoli velká skupina budov reprezentována pouze jediným bodem pro zjišťování konektivity (viz kap. 5.2.3). Algoritmus též na rozdíl od kartografů vyřadil poměrně dlouhý slepý úsek nacházející se na pravé dolní části obrázku. Další odlišnosti ve výběru cest lze přisuzovat

nevhodně nastaveným parametrům, jako jsou např. váhy jednotlivých cest či váhy bodů pro výpočet konektivity.

Typ 3 – velká rozloha, nízká hustota

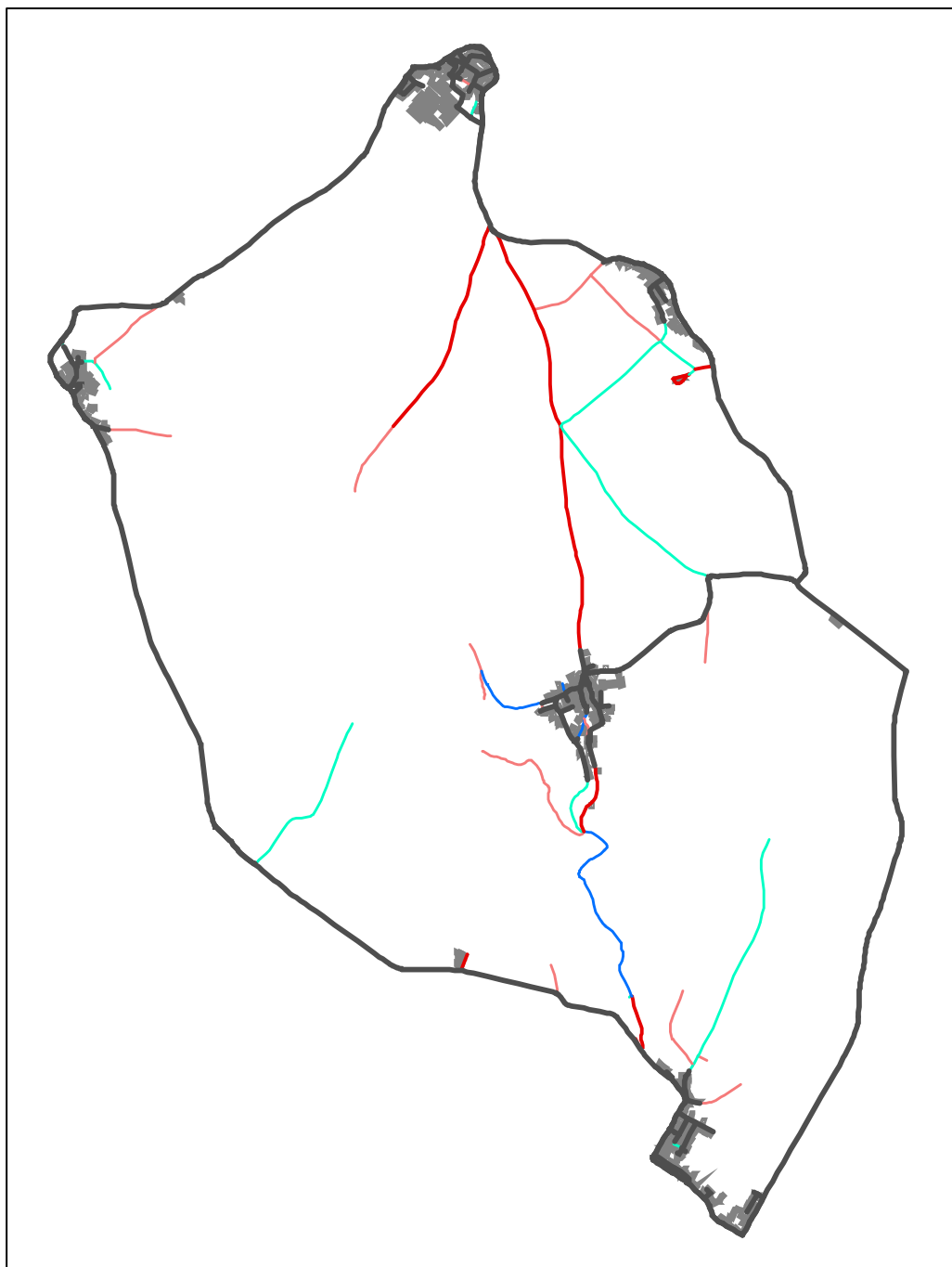
Velkou rozlohou spadající do pětiny největších ze všech území, ovšem hustotou sítě komunikací zhruba 3krát menší, než u ostatních testovacích území, se vyznačuje území, které reprezentuje typ území č. 3. Podíl cest na celkové délce všech komunikací je zde výrazně menší, než u většiny ostatních testovaných území. Do území zasahují poměrně významné části menších obcí. Většinu rozlohy zde tvoří pole. Jak ukazuje tab. 13 a obr. 23, míra shody je zde ze všech testovaných území s přehledem nejnižší – činí pouze 57 %.

	ZM 25			shoda (%)
algoritmus		ano (%)	ne (%)	
	ano (%)	28,21	10,67	
	ne (%)	32,32	28,80	
shoda (%)				57,01

tab. 13: Chybová matice u modelového území 5

zdroj: autorka; zdroj dat: ČÚZK, 2016

Na nízké shodě se významně podílí fakt, že kartografové do generalizované mapy vybrali o více než pětinu celkové délky cest více, než by vybral náš algoritmus. Jeho pravděpodobná příčina je zmíněna u testovacího území 2. Dalším faktorem je, podobně jako u území 4, to, že algoritmus na rozdíl od kartografů vyřadil dlouhé slepé úseky.



obr. 23: Vizualizace shody navrženého algoritmu a ZM 25 u modelového území 5

zdroj: autorka; zdroj dat: ČÚZK, 2016

Typ 4 – velká rozloha i hustota

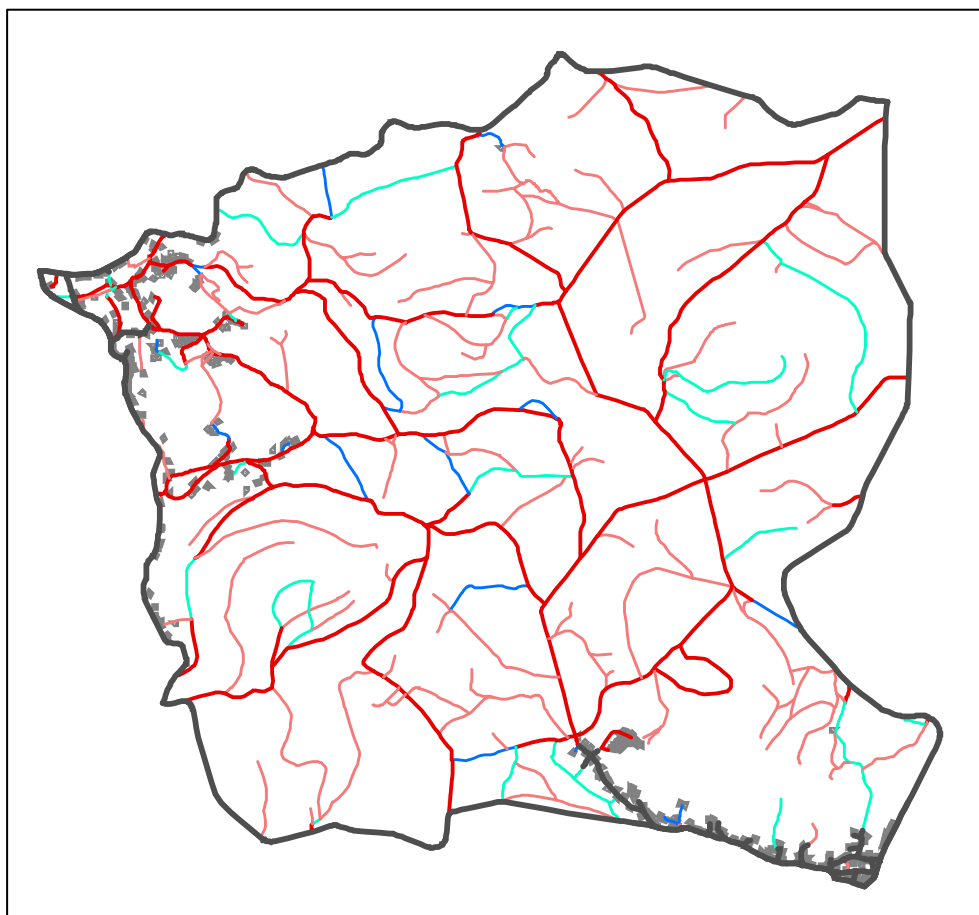
Předposlední typ testovacích území je zastoupen dvěma územími o velké rozloze s velkou hustotou sítě komunikací. První z nich (viz tab. 14 a obr. 24) má oproti druhému v celkové délce komunikací větší zastoupení cest a pěšin, hustota sítě v jeho jednotlivých částech je poměrně homogenní, drtivá většina rozlohy je tvořena lesem. Do území zasahují výraznějším

způsobem dvě obce. Druhé území zhodnocené v tab. 15 a obr. 25 vykazuje v rozložení hustoty poměrně výraznou heterogenitu. Asi polovinu území zabírá les, v němž je poměrně hustá síť cest. Ve zbytku území je pak většina plochy tvořena polem. Do území zasahují významné části menších vesnic. U obou území se ve výběru více než čtyř pětín celkové délky cest a pěšin se zde náš algoritmus shodne s kartografi.

	ZM 25			shoda (%)
algoritmus		ano (%)	ne (%)	
	ano (%)	39,13	5,24	
	ne (%)	12,29	43,34	
shoda (%)				82,47

tab. 14: Chybová matice u modelového území 6

zdroj: autorka; zdroj dat: ČÚZK, 2016



obr. 24: Vizualizace shody navrženého algoritmu a ZM 25 u modelového území 6

zdroj: autorka; zdroj dat: ČÚZK, 2016

U prvního z testovaných území tohoto typu (tab. 14, obr. 24) je shoda výběru algoritmem a kartografy největší ze všech testovaných území – téměř 82,5 %. Podstatná část neshody plyne z menší celkové délky cest vybraných algoritmem, než těch, které vybrali kartografové ze ZÚ. Tyto délky se zde liší o 7 %. Podobně jako modelového území 4 vykazuje algoritmus oproti ZM 25 absenci některých cest propojujících větší skupiny budov se zbytkem sítě. Odlišnost je zde patrná v částech území s vysokou hustotou sítě, kde je algoritmem ponecháno více úseků než v ZM 25, opačně tomu je v částech území s nízkou hustotou. Tato odlišnost je pravděpodobně zapříčiněna rozložením a především vahami bodů pro určování konektivity reprezentujících důležité křižovatky.

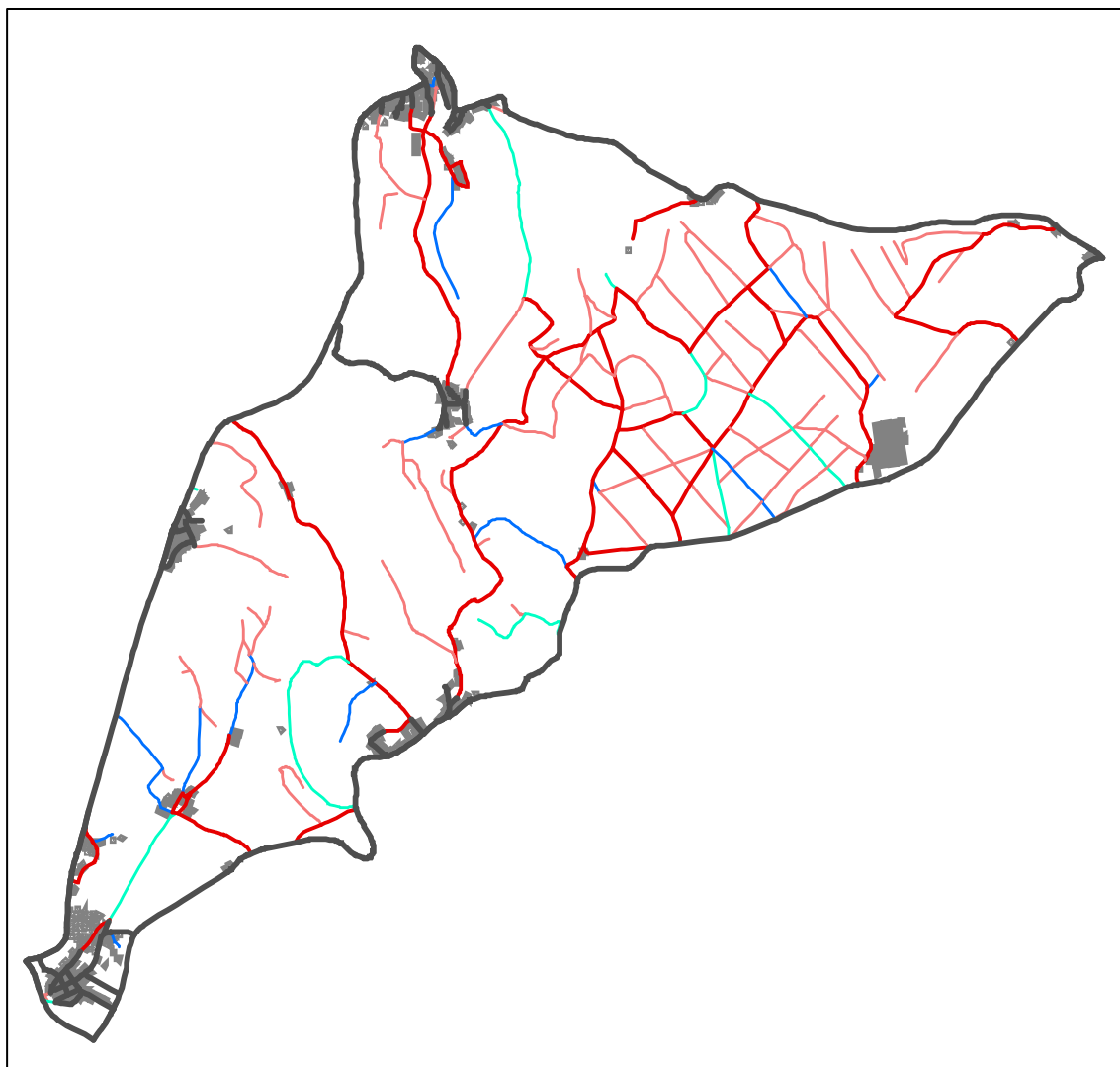
I zde je shoda výstupu z algoritmu a ZM 25 velká – 80 %. Shoda je zde i v celkové délce vybraných cest a pěšin.

	ZM 25			shoda (%)
algoritmus		ano (%)	ne (%)	
	ano (%)	38,05	9,64	
	ne (%)	10,26	42,05	
shoda (%)				80,10

tab. 15: Chybová matice u modelového území 7

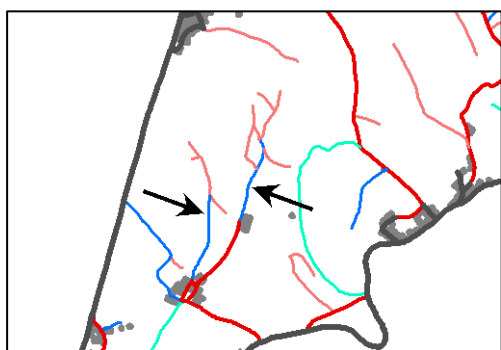
zdroj: autorka; zdroj dat: ČÚZK, 2016

Níže zobrazené druhé testovací území vykazuje shodu přibližně 80 %. Kartografové se zde téměř shodli s algoritmem v celkové délce vybraných úseků. Největší odlišnosti ve výběru cest vykazují části území s nízkou hustotou cestní sítě, dále pak v místech, kde propojují větší skupiny budov se zbytkem sítě. Další příčina odlišností je na obr. 26, který je výřezem levé dolní části obr. 23. Šipkou jsou zde označeny dva úseky, které algoritmus na rozdíl od ZM 25 vybral. Přestože tyto dva úseky nebyly vyhodnoceny algoritmem jako slepé (navazují na ně další úseky), kartografové je na rozdíl od algoritmu vzhledem k jejich nulovému významu pro konektivitu z mapy vyloučili.



obr. 25: Vizualizace shody navrženého algoritmu a ZM 25 u modelového území 7

zdroj: autorka; zdroj dat: ČÚZK, 2016



obr. 26: Část modelového území 7

zdroj: autorka; zdroj dat: ČÚZK, 2016

Typ 5

Poslední typ testovacích území zastupuje jedno území, které svojí rozlohou několikrát přesahuje všechna ostatní testovací území, zároveň má i velkou hustotu cestní sítě. Asi 80 % celkové rozlohy tvoří lesy, zbytek je pak tvořen poli a zástavbou.

Vzhledem k velikosti území a množství úseků cest, pěšin, silnic a ulic byla výpočetní náročnost a nároky na paměť počítače tak velké, že po 23 hodinách od spuštění výpočtu na výkonném počítači byly z grafu odebrány pouhé dva úseky. Vzhledem k očekávané dlouhé době běhu výpočtu nebyly jeho výsledky zařazeny do této práce.

V tab. 16 jsou pro jednotlivá území zaznamenaná procenta shody ve výběru úseků cestní sítě ZM 25 a našeho algoritmu.

typ území	ID území	shoda algoritmu a ZM 25 (%)
1. malá rozloha, vysoká hustota	1	75,15
	2	75,58
2. středná rozloha, vysoká hustota	3	81,08
	4	73,96
3. velká rozloha, nízká hustota	5	57,01
4. velká rozloha, vysoká hustota	6	82,47
	7	80,10
5. extrémně velká rozloha, vysoká hustota	8	-

tab. 16: Souhrn procentuálních shod algoritmu a ZM 25 u jednotlivých modelových území

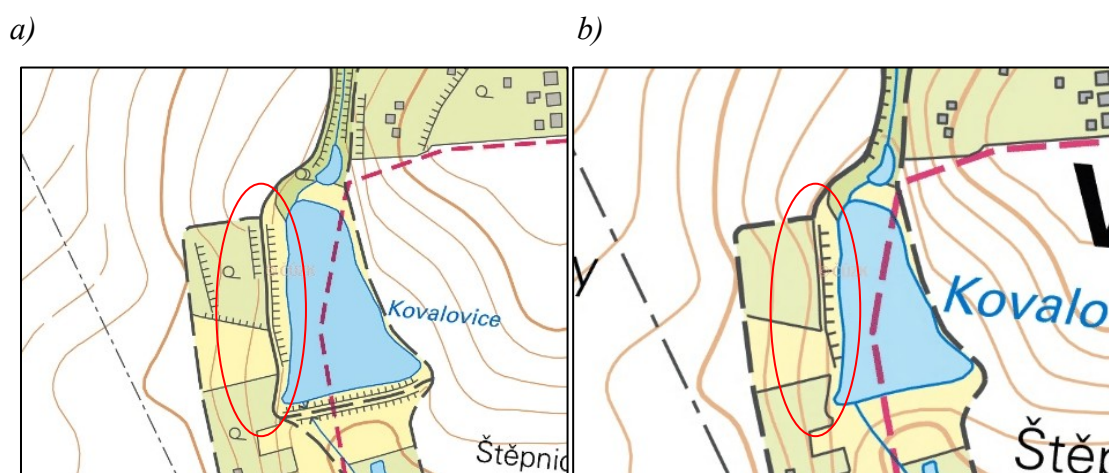
zdroj: autorka; zdroj dat: ČÚZK, 2016

6 Diskuze

Srovnání zvoleného postupu se stávajícími postupy a principy

Při automatizaci výběru cestní sítě jsme vycházeli z obecných pravidel pro generalizaci, z postupů aplikovaných na silniční síti a zároveň jsme se řídili pravidly definovanými v *Seznamu mapových značek Základní mapy ČR 1:25 000*. Podstatným zdrojem informací byly též ZM 10, ZM 25 a cenné rady od kartografů z Vojenského geografického a hydrometeorologického úřadu v Dobrušce (VGHMÚř). Některé principy a postupy, jako je např. výběr bodů, mezi nimiž je určována konektivita, a samotný výpočet naší obdoby konektivity s využitím vah úseků a odpovídajících bodů, doposud nebyly publikovány.

Vzhledem k tomu, že navržený postup je určen primárně pro aplikaci na ZABAGED, bylo zásadní dodržovat pravidla definovaná v *Seznamu mapových značek Základní mapy ČR 1:25 000*. Vlastně jediným jednoznačně definovaným a zároveň jednoduše aplikovatelným pravidlem je zde to, že jsou v ZM 25 ponechány všechny udržované cesty. Při podrobnějším porovnávání ZM 10 a ZM 25 však bylo zjištěno, že toto pravidlo není v praxi zcela striktně dodržováno. Na obr. 27a je část cestní sítě zobrazená na ZM 10, na obr. 27b je pak totožné území zobrazené na ZM 25. Je patrné, že zpevněná cesta vyznačená červenou elipsou se nachází na ZM 10, ovšem na ZM 25 zobrazena není.



obr. 27: Vyloučení zpevněné cesty ze ZM 25

zdroj: autorka; zdroj dat: ČÚZK, 2017a, ČÚZK, 2017b

Vzhledem k tomu, že tato práce má za primární cíl automatizovat práci kartografů, byl náš algoritmus postaven tak, aby toto pravidlo nemuselo být striktně dodrženo. Pokud by se ovšem potenciální uživatel rozhodl, že opravdu ponechá všechny udržované cesty, pak lze

jednoduše na konci posledního skriptu k výběru cest přidat všechny cesty zpevněné, které algoritmus ze ZM 25 vyloučil.

Námi automatizovaný výběr prvků probíhá bez ohledu na ostatní prvky v mapě (s výjimkou budov, které v našem případě reprezentují objekty, jež musí být propojeny se sítí komunikací). Při výběru cest není brán ohled ani na náplň mapy. To ovšem není nijak podstatný problém v případě území, kde je většina cest a kde se nenachází příliš velké množství prvků, tedy např. v rozsáhlejších zalesněných oblastech.

Lauermann (1975) uvádí, že všechny čtyři metody generalizace jsou spjaty, prolínají se a navzájem se ovlivňují. Výběr prvků, tedy první z metod generalizace, je v této práci navzdory tomu aplikován bez ohledu na další fáze generalizace. Tento nedostatek je však kompenzován případnou možností zásahu operátora, který může během realizace dalších fází generalizace výběr prvků dodatečně upravovat, což umožňuje, podobně jako u výstupu z nástroje *Thin Road Network*, podoba výsledných dat – tedy to, že úseky kandidující na vyřazení ze ZM 25 nejsou smazány, ale pouze označeny.

Zcela originální je v této práci výpočet konektivity, a to především v tom, že body, mezi nimiž je konektivita měřena, jsou vybírány tak, aby reprezentovaly pro uživatele mapy důležitá místa v rámci sítě. Samotný výpočet konektivity je pak inspirován principem jedné z metod výpočtu akcesibility zmiňované Hudečkem (2008).

Normativní výběr, na němž byla založena ukončovací podmínka pro odebírání úseků nejméně ovlivňujících konektivitu, je založen na zachování poměru hustoty mezi podkladovou a generalizovanou mapou. Náš algoritmus na rozdíl od poznatků Lauermanna (1975) nebere v potaz počet objektů (tedy cest a pěšin), ale po vzoru autorů Liu, Ai, Liu (2009) počítá hustotu sítě jako celkovou délku cest v mapě vztaženou na jednotku plochy mapy.

S výpočtem hustoty cestní sítě souvisí i volba území, v rámci kterého byl celý algoritmus implementován a ke kterému se vztahovala i celková délka cest při výpočtu hustoty sítě. Území bylo rozděleno do celků ohraničených silnicemi, což mělo oproti zmiňované metodě mřížky či např. metodě fraktální geometrie (Liu, Zhan, Ai, 2010) výhodu především v tom, že jednotlivé úseky sítě nemusely být uměle děleny. Nevýhodou tohoto dělení je pak naopak velká nehomogenita hustoty v rámci zvoleného území, což může mít za následek nedodržení podmínky zachování hustoty v rámci podoblastí zvoleného území.

Výše zmíněná část diskuze uvádí, do jaké míry se náš postup opírá o postupy zmíněné v odborné literatuře či topografické praxi. Důležitým poznatkem je fakt, že definovaná pravidla pro generalizaci cestní sítě nejsou (a pravděpodobně ani nemohou být) naprosto striktně dodržována. Příkladem je *Seznam mapových značek Základní mapy ČR 1:25 000*, v němž formulované pravidlo o zachování zpevněných cest bývá v praxi kartografy porušováno, a to v důsledku charakteru daného území.

Zhodnocení výsledků testování vytvořených skriptů

Jak uvádí tab. 14 v kapitole 5.3, ve všech územích kromě jediného se míra shody výstupů z našich skriptů (s použitím defaultních hodnot parametrů) s výstupy z ruční práce kartografů ze ZÚ pohybuje nad 70 %, což lze považovat za poměrně uspokojivý výsledek. Algoritmus vykazuje nejlepší výsledky u větších území s vysokou hustotou sítě komunikací, v našem případě bylo dosaženo úspěšnosti (tedy shody) přesahující 80 %. Naopak jednoznačně nejmenší a rozhodně neuspokojivé shody, jen o pár procent přesahující hranici 50 %, bylo dosaženo u území s nízkou hustotou cest a silnic.

Z výsledků lze odvodit, že klíčovou roli v úspěšnosti algoritmu hraje především hustota sítě. U některých území (jako např. u území č. 5) kartografové ze ZÚ vybrali do ZM 25 mnohem větší podíl cest než náš algoritmus, tedy než (ve většině případů) zhruba 2,5krát sníženou původní délku cest. To je pravděpodobně způsobeno nízkou mírou náplně mapy v daných oblastech (z velké části související s nízkou hustotou cestní sítě), díky níž si kartografové mohli „dovolit“ zařadit do ZM 25 větší podíl cest, než by tomu bylo u území s velkou hustotou cest. Vylepšení shody navrženého algoritmu se ZM 25 lze tedy v případě území s nízkou hustotou cest dosáhnout zvýšením výsledného počtu cest v generalizované mapě.

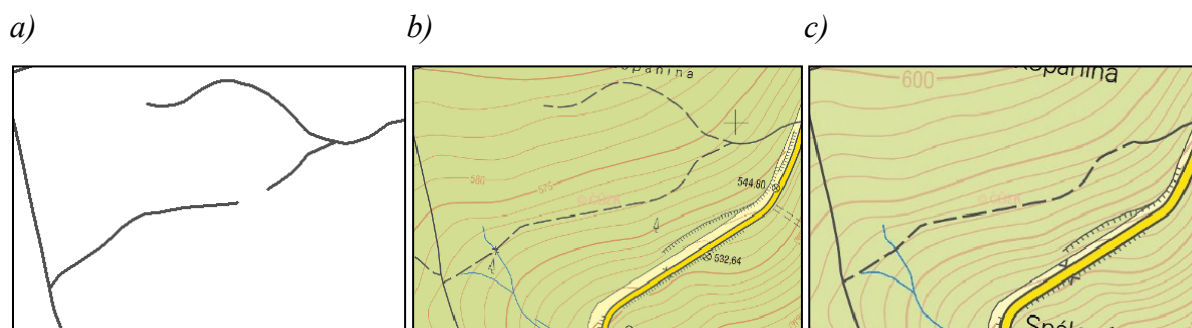
Poměrně úspěšně algoritmus zachovává lokální rozdíly v hustotě cestní sítě v rámci jednoho území (viz území č. 7), které v některých případech ovšem ještě prohlubuje (viz území 6). Toho je docíleno díky zvolenému principu výběru a vážení bodů, mezi nimiž je zjišťována konektivita.

Jedním z nedostatků implementovaného algoritmu je jeho vysoká výpočetní náročnost, která se projevuje v oblastech s extrémně vysokým množstvím cest. Příkladem je území č. 8, ve kterém bylo zahrnuto tak velké množství cest, že by doba průběhu skriptu byla neúnosná (během testování byl výpočet spuštěn po dobu 6 hodin a během té doby nebyl identifikován ani jeden úsek kandidující na vyloučení ze ZM 25). Výše zmíněný nedostatek souvisí s tím, že

naše implementace je pouze experimentální, jedná se tedy o ověření funkčnosti navrženého postupu, nikoli o verzi programu vhodnou pro produkční nasazení.

V případě takovýchto území, jež jsou v Česku minoritní, se nabízí dvě řešení. První (a z hlediska potenciálního uživatele nejprůvčetnější) z nich je optimalizace algoritmu tak, aby se zkrátila jeho výpočetní náročnost. Druhým možným řešením je pak rozdělení území na menší části, a to např. podle zpevněných cest. Ani jedna z možností dosud nebyla aplikována.

Je nutné poznamenat, že ne vždy neshoda výstupu z algoritmu se ZM 25 indikovala nedostatky ve zvoleném postupu. Dalším, i když minoritním, faktorem byl nesoulad ZABAGED se ZM, který je způsoben časem pořízení dat, kdy mapa zachycuje starší stav než data ZABAGED (viz obr. 28).



obr. 28: Nesoulad ZABAGED se ZM 10 a ZM 25

a) ZABAGED

b) ZM 10

c) ZM 25

zdroj: autorka; zdroj dat: ČÚZK, 2016; ČÚZK, 2017a, ČÚZK, 2017b

Z výše uvedených poznatků lze dojít k závěru, že výstupy z algoritmu prokazují poměrně uspokojivou shodu se ZM 25. Slabá místa algoritmu se projevují na územích s nízkou hustotou cest, kde je shoda nejnižší; naopak u rozsáhlejších území s velkou hustotou cest dosahuje algoritmus shody více než 80 %, u nich je ovšem v důsledku vysoké výpočetní náročnosti algoritmu výpočetní čas velmi dlouhý, v některých případech až neúnosně. Míru shody algoritmu s kartografy ze ZÚ negativně ovlivňují i chyby v ZABAGED a její nesoulad se ZM 10 a ZM 25.

Srovnání výsledků testování s výstupy z nástroje Thin Road Network

Pro zhodnocení úspěšnosti navrženého algoritmu se nabízí srovnat výsledky testování s výsledky testování nástroje *Thin Road Network*. Pro tento účel bylo vybráno testovací

území 3. Vstupní parametry do nástroje byly zvoleny následujícím způsobem. Parametr *hierarchy field* byl nastaven na hodnotu 1 u udržovaných cest, hodnotu 2 u pojmenovaných neudržovaných cest, hodnotu 3 u neudržovaných nepojmenovaných cest a hodnotu 5 u pěšin. Zadaná minimální délka úseku byla zvolena tak, aby výsledná délka cestní sítě odpovídala délce sítě v ZM 25, tedy na 1680 m. Shoda výstupu z nástroje se ZM 25 je uvedena v tab. 17.

	ZM 25			shoda (%)
Thin Road Network		ano (%)	ne (%)	
	ano (%)	40,88	10,31	
	ne (%)	10,54	38,27	
shoda (%)				79,15

tab. 17: Chybová matice - nástroj Thin Road Network u modelového území 3

zdroj: autorka

Nástroj *Thin Road Network* při nastavených parametrech vykazuje se ZM 25 shodu 79,15 %. Pro srovnání byl parametr výsledné délky ponechaných úseků nastaven přibližně na hodnotu celkové délky cest též v našem algoritmu, ostatní parametry zůstaly nezměněny. Shoda výstupu z takto modifikovaného algoritmu se ZM 25 je uvedena v tab. 18.

	ZM 25			shoda (%)
algoritmus		ano (%)	ne (%)	
	ano (%)	42,79	8,23	
	ne (%)	8,63	40,35	
shoda (%)				83,14

tab. 18: Chybová matice - algoritmus s pozměněným parametrem u modelového území 3

zdroj: autorka

Vytvořený algoritmus s pozměněným parametrem vykázal shodu se ZM 25 83,14 %, což je o 4 % více než v případě nástroje *Thin Road Network*. Tab. 19 vyčísluje shodu nástroje *Thin Road Network* s vytvořeným algoritmem.

	Thin Road Network			shoda (%)
algoritmus		ano (%)	ne (%)	
	ano (%)	43,43	7,59	
	ne (%)	7,82	41,16	
shoda (%)				84,59

tab. 19: Chybová matice – shoda algoritmu s nástrojem Thin Road Network

zdroj: autorka

Algoritmus se s nástrojem *Thin Road Network* shoduje v téměř 85 % celkové délky cest. Jednou z odlišností je to, že nástroj na rozdíl od algoritmu v ZM 25 ponechává některé dlouhé slepé úseky cest.

Modelové území 3 ilustruje, že minimálně na některých územích se výstupy z našeho algoritmu shodují s výstupy kartografů lépe než výstupy z nástroje *Thin Road Network*, vyhodnocený 4% rozdíl u testovaného ovšem není příliš výrazný. Vzhledem k tomu, že u algoritmu byly nalezeny některé nedokonalosti, které způsobují snížení shody se ZM 25, a byla navržena jejich náprava, je zde prostor pro zlepšení výsledků a přesvědčivější „porážku“ nástroje *Thin Road Network*.

Možná vylepšení algoritmu na základě výsledků testování

Na základě testování navrženého algoritmu na modelových územích bylo identifikováno několik případů, u kterých se výstup z algoritmu odlišuje od ZM 25.

Prvním případem jsou dlouhé slepé úseky, které nevedou k žádné budově. Zatímco náš algoritmus je z generalizované mapy automaticky vyřazuje, kartografové některé z nich např. u území 4 a 5 v ZM 25 ponechali. Možným řešením je stanovení určité minimální délky slepého úseku, od které by byl slepý úsek kandidátem na ponechání v ZM 25.

Dalším případem jsou slepé úseky, které byly algoritmem vyhodnoceny jako jediné přístupové cesty k budovám a tedy ponechány, ovšem v ZM 25 zařazeny nebyly (území 1). Důvodem může být to, že dané budovy nebyly kartografy na rozdíl od našeho algoritmu považovány za důležité objekty. Dalším důvodem může být příliš široká obalová zóna budov, do které dané cesty zasahují, čímž byly chybně vyhodnoceny jako jediné přístupové. Možným vylepšením algoritmu je tedy zařazení správných typů objektů mezi důležité objekty, což, jak očekáváme, provede uživatel na základě konkrétních požadavků mapového díla. Na obr. 29 je ukázka jediné přístupové cesty k zřícenině hradu zachované v ZM 25, která dokazuje, že mezi důležité objekty kartografové ze ZÚ řadí i jiné objekty, než jsou budovy.



obr. 29: Jediná přístupová cesta k zřícenině hradu

zdroj: autorka; zdroj dat: ČÚZK, 2017b

Pro navržený algoritmus jsou problémové tzv. slepé skupiny cest ukázané na obr. 26 v kapitole 5.3 (území 7). Tyto skupiny je možné popsat de facto jako slepé rozvětvené cesty, které na pohled nijak výrazně nepřispívají ke konektivitě sítě. Vzhledem k nízké hustotě cestní sítě a nízké hodnotě parametru udávajícího minimální vzdálenost mezi body reprezentujícími důležité křižovatky na nich byly naším algoritmem vygenerovány body pro zjišťování konektivity. Tato skutečnost automaticky znamená zařazení některých úseků těchto skupin cest do generalizované mapy. Možným řešením tohoto problému a vylepšením navrženého algoritmu je zvýšení hodnoty parametru udávajícího minimální vzdálenost mezi body reprezentujícími důležité křižovatky, příp. snížení jejich počtu.

Poměrně častým problémem je to, že algoritmus s generalizované mapy chybně vyřazuje některé cesty, které propojují větší skupiny budov se zbytkem sítě (viz území 4, 6 a 7). Jak již bylo v kap. 5.3 zmíněno, příčinou je pravděpodobně to, že každá skupina budov je znázorněna pomocí jediného bodu pro určování konektivity. V případě větších skupin budov by bylo ovšem vhodnější počet těchto bodů zvýšit tak, aby každý bod reprezentoval určitou část této skupiny a jeho prostřednictvím bylo zajištěno její propojení s ostatními místy (body) důležitými pro konektivitu. K zamyšlení je i volení váhy těchto bodů. V našem algoritmu mají všechny body reprezentující skupinu budov stejnou váhu, vhodnější variantou by mohlo být to, že by váha byla závislá na počtu budov v této skupině, příp. na typech budov (restaurace bude např. významnější než rodinný dům apod.). Z toho důvodu by měly být k použité vrstvě BudovaBlokBudov přidány další objekty polohopisu, v úvahu by měly být brány jejich vedené atributy.

Další možnosti využití a vylepšení navrženého algoritmu

V této části práce budou diskutována další možná vylepšení navrženého algoritmu, která by mohla za určitých podmínek přispět k vyššímu procentu shody se ZM 25. Vzhledem k tomu, že velká část neshody algoritmu se ZM 25 pravděpodobně plynula z různých hustot sítě a velikostí jednotlivých území, vidíme možná vylepšení algoritmu právě v ošetření těchto rozdílů. Další vylepšení pak vidíme v optimalizaci algoritmu tak, aby mohla být v reálném čase zpracována i velmi rozsáhlá území s vysokou hustotou cestní sítě, příp. v dalších aspektech popsaných níže.

a) hustota cestní sítě

Jak už bylo výše zmiňováno, pravidlo, že hustota cestní sítě má být v ZM 10 a ZM 25 stejná, neplatí dle výsledku testování na všech územích. Podstatné je především to, že v případě území s nízkou hustotou cestní sítě by měl být ze ZM 25 vyřazen menší podíl cest než v případě území s velkou hustotou cest. Jako možné vylepšení skriptu se tedy nabízí několik možností. První z nich je zajištění, aby uživatel mohl měnit požadovanou výslednou délku cest, případně aby byla výsledná délka cest spočítána automaticky na základě výpočtu hustoty všech cest na daném území. Druhou možností je to, že by atribut „ponechat“, do něhož je v našem skriptu zapisována 0 (neponechat) či 1 (ponechat), mohl nabývat více hodnot, a to na základě pořadí, ve kterém byly úseky během výpočtu konektivity vyloučeny. Všechny úseky, které konektivitu neovlivňují vůbec, by měly hodnotu 0, první vyloučený úsek by získal hodnotu 1, druhý hodnotu 2, atd. Operátor by poté vybral požadovaný počet těch nejdůležitějších, které by poté byly zařazeny do ZM 25.

Konečnou hustotu pak ještě ovlivňuje jeden ze závěrečných kroků posledního skriptu, tedy to, že jsou k vybraným úsekům přidány všechny vyloučené úseky, které jsou zároveň jedinou přístupovou komunikací k budově. Tento krok ovšem u většiny území nezvýší konečnou hustotu nijak markantně – bude se většinou jednat o kratší slepé úseky cest.

b) volba bodů pro konektivitu s využitím volitelných hodnot parametrů

Navzdory určitým požadavkům na potenciální uživatele lze za výhodu navrženého algoritmu, implementovaného v příložených skriptech, považovat možnost změny některých parametrů právě uživatelem, čímž lze výsledky přizpůsobit nejen konkrétním požadavkům operátora a mapového díla, ale především charakteru území. Toto tvrzení platí především během výběru bodů, mezi nimiž bude počítána konektivita.

Některé parametry, jako jsou např. váhy jednotlivých kategorií komunikací, budou pravděpodobně pro všechna území voleny stejně. Poněkud složitější je zde otázka výběru bodů pro konektivitu, a to především těch, které reprezentují důležitou křižovatku. Především volená minimální vzdálenost mezi body je závislá na rozloze území i množství cest.

Pokud uživatel zvolí příliš velkou minimální vzdálenost mezi body, bude jich vybráno nedostatečné množství. Čím menší množství bodů v síti bude, tím méně cest bude potřeba k jejich vzájemnému propojení. Může se tedy stát, že hned v první fázi, kdy se odebírají

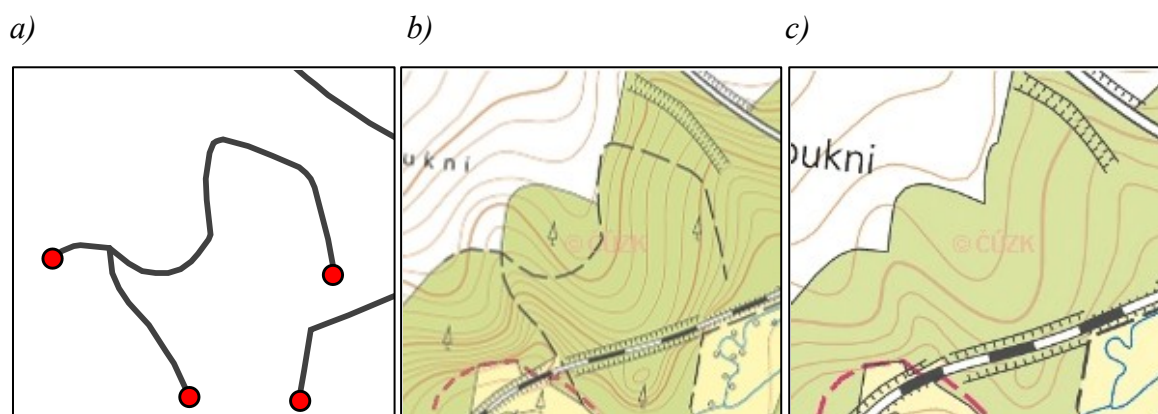
všechny cesty neovlivňující konektivitu, bude odebráno příliš velké množství cest, skript bude zastaven a uživatel vyzván, aby změnil parametry pro výběr bodů.

Pokud naopak uživatel zvolí příliš malou minimální vzdálenost mezi body pro výpočet konektivity, může se v extrémním případě stát, že téměř všechny úseky budou potřebné k jejich propojení a do ZM 25 bude zahrnuto příliš mnoho prvků. Při příliš velkém množství bodů navíc dojde k několikanásobnému prodloužení doby výpočtu konektivity.

Významným vylepšením algoritmu by z výše zmíněných důvodů byl automatický výpočet minimální vzdálenosti bodů pro výpočet konektivity, a to v závislosti na rozloze území a hustotě cestní sítě.

c) samotná podoba skriptu, interakce s daty a s uživatelem

Kromě již zmíněného území č. 8 algoritmus během testování fungoval na všech modelových územích. Nejzávažnější problém, s nímž se potýkal, byly odtržené úseky cest, tedy ty, které nebyly propojeny se zbytkem cestní a silniční sítě. Obr. 30 ukazuje příklad odtržené skupiny segmentů, a to v datech (obr. 30a) a v ZM 10 (obr. 30b), která již v ZM 25 není zahrnuta (obr. 30c).



obr. 30: Odtržené úseky

a) v ZABAGED

b) v ZM 10

c) v ZM 25

zdroj: autorka; zdroj dat: ČÚZK, 2016; ČÚZK, 2017a

Díky následné nepropojenosti grafu pak nemohla na území s těmito úseky probíhat analýza konektivity. V těchto případech byl průběh skriptu (konkrétně skriptu č. 5) zastaven a uživatel vyzván ke kontrole topologie, smazání příp. připojení těchto úseků v datech a opětovné spuštění skriptů. Jako možné, i když pravděpodobně poměrně náročné a nejednoznačně vyřešitelné vylepšení algoritmu, se tedy nabízí možnost automatického připojení nebo smazání daného úseku přímo v rámci skriptů, případně rozdělení grafu na více grafů tak, aby každý obsahoval právě jednu komponentu souvislosti, a následný výpočet v každém grafu zvlášť.

Z výše zmíněných výsledků, vyjádřených pomocí shody algoritmu s výstupy kartografů, lze usoudit, že úspěšnost našeho řešení práce je poměrně uspokojivá. Na základě zmíněných nedostatků a návrhů jejich řešení je patrné, že algoritmus nabízí určitý prostor pro další zlepšení výsledků.

7 Závěr

Procesem výběru prvků začíná téměř každá generalizace cestní sítě. Vybrané prvky, tedy jednotlivé úseky cest, by měly co nejlépe vystihovat charakter celé sítě.

Cílem této práce bylo navržení metodiky automatizace výběru prvků cestní sítě pro Základní mapu v měřítku 1 : 25 000, který v současnosti provádějí manuálně kartografové. Funkčnost a úspěšnost navržené metodiky byla poté testována na vybraných územích, měřítkem úspěšnosti byla míra shody výstupů s výstupy ruční práce kartografů.

V práci byly popsány základní metody pro výběr prvků cestní a silniční sítě a způsob jejich výběru v české topografické praxi. Některé z publikovaných metod jsou částečně zahrnuty v našem algoritmu, naopak unikátní je zde např. nově navržená metoda výpočtu konektivity a výběru bodů, mezi nimiž je konektivita zjišťována.

Vzhledem k tomu, že na drtivé většině z testovaných území došlo k více než 70% shodě se ZM 25, lze navrženou metodiku považovat za poměrně úspěšnou. Největší přínos může mít vytvořený algoritmus na spíše rozsáhlejších územích s vyšší hustotou cestní sítě, tedy typicky ve větších lesích, kde dosahuje více než 80% shody s ruční prací kartografů.

Určitý potenciál má v případě výběru cest do generalizované mapy sledování polohy uživatelů pomocí mobilních aplikací, na jehož základě jsou identifikovány a v mapě vyznačovány nejfrekventovanější cesty. Právě z hledání potenciálně nejvyužívanějších cest postup navržený v této práci vychází, čímž se v zásadě snaží simulovat funkci těchto aplikací.

POUŽITÉ ZDROJE

BEWER, C. A., STANISLAWSKI, L. V., BUTTENFIELD, B. P. (2012): *Multiscale Design for The National Map of the United States: Road Thinning for Topographic Mapping*. In: AutoCarto 2012 Proceedings, Columbus, Ohio, s. 16–18.

BJØRKE, J. T. (2004): *Map Generalization of Road Networks*. In: Proceedings of IST-043/RWS-006, Visualisation and the Common Operating Picture. Dostupné z URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.96.4193&rep=rep1&type=pdf> (cit. 21. 3. 2016).

BJØRKE, J. T., ISAKSEN, E. (2005): *Map Generalization of Road Networks: Case study from Norwegian small scale maps*. In: Proceedings XXII International cartographic Conference, La Coruña, Spain. Dostupné z URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.105.2149&rep=rep1&type=pdf> (cit. 31. 3. 2016).

ČAPEK, R. a kol. (1992): *Geografická kartografie*. SPN, Praha, 373 s.

ČSN 73 0401 (1990): *Názvosloví v geodézii a kartografii*. Český normalizační institut, Praha, 111 s.

ČÚZK (1993): *Seznam mapových značek Základní mapy ČR 1:25 000*. Český úřad zeměměřičský a katastrální, Praha, 40 s.

ČÚZK (2016): *Základní báze geografických dat*. Verze 3.0.

ČÚZK (2017a): *Prohlížeč služba WMS ZM 10*. Dostupné z URL: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM10_PUB/WMSservice.aspx (cit. 9. 4. 2017)

ČÚZK (2017b): *Prohlížeč služba WMS ZM 25*. Dostupné z URL: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM25_PUB/WMSservice.aspx (cit. 9. 4. 2017)

DIJKSTRA, E. W. (1959): *A note on two problems in connexion with graphs*. Numerische Mathematik 1, s. 269–271. Dostupné z URL: <http://www.cs.yale.edu/homes/lans/readings/routing/dijkstra-routing-1959.pdf> (cit. 8. 4. 2017)

ESRI (2010): *Network Analyst Tutorial*. Dostupné z URL:

<http://help.arcgis.com/en/arcgisdesktop/10.0/pdf/network-analyst-tutorial.pdf> (cit. 15. 3. 2017).

ESRI (2013): *ArcČR 500*. Verze 3.3. Dostupné z URL: <http://www.arcddata.cz/produkty-a-sluzby/geograficka-data/arccr-500> (cit. 27. 4. 2017)

ESRI (2016): *ArcGIS 10.3 Help, Thin Road Network*. Dostupné z URL:

<http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html#//0039000000001000000> (cit. 21. 3. 2016).

GRASS Development Team (2015): *Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Programmer's Manual*. Dostupné z URL:

<https://grass.osgeo.org/grass72/manuals/v.generalize.html>. (cit. 28. 4. 2017)

HAGBERG, A. A, SCHULT, D. A., SWART, P. J. (2008): *Exploring network structure, dynamics, and function using NetworkX*. In: Proceedings VII Python in Science Conference (SciPy2008), Pasadena, CA USA, str. 11–15. Dostupné z URL:

http://conference.scipy.org/proceedings/SciPy2008/paper_2/full_text.pdf (cit. 8. 4. 2017)

HOPCROFT, J., TARJAN, R. (1973): *Algorithm 447: efficient algorithms for graph manipulation*. Communications of the ACM, 16, č. 6, s. 372–378. Dostupné z URL:

http://www.akira.ruc.dk/~keld/teaching/algoritmedesign_f03/Artikler/06/Hopcroft73.pdf (cit. 8. 4. 2017)

HUDEČEK, T. (2008): *Akcesibilita a dopady její změny v Česku v transformačním období: vztah k systému osídlení*. Praha: UK, Přírodovědecká fakulta. 119 s.

JANATA, T. (2016): *Hodnocení úplnosti a správnosti zákresu cestní sítě v topografických mapách*. Geodetický a kartografický obzor, 62, 2, s. 33–36.

KREMLOVÁ, J. (2013). *Tvorba umělé sociální sítě a měření získaných dat*. Univerzita Pardubice, Pardubice, 71. s.

LAUERMANN, L. (1975): *Technická kartografie*. Vojenská akademie Antonína Zápotockého, Brno, 346 s.

LIU, X., AI, T., LIU, Y. (2009): *Road density analysis based on skeleton partitioning for road generalization*. Geo-Spatial Information Science, 12, s. 110–116.

LIU, X., ZHAN, F. B., AI, T. (2010): *Road selection based on Voronoi diagrams and “strokes” in map generalization*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 12, s. 194–202.

MINISTERSTVO OBRANY (2006): *Značkový klíč pro tvorbu topografických map měřítek 1 : 25 000, 1 : 50 000 a 1 : 100 000*. Geografická služba Armády České republiky, Praha, 126 s.

PARK, J. (2015): *Shortest path algorithms*. Stanford University, Stanford, 18. s. Dostupné z URL: <https://web.stanford.edu/class/cs97si/07-shortest-path-algorithms.pdf> (cit. 25. 4. 2017)

RICHARDSON, D. E., THOMSON, R. C. (1996): *Integrating thematic, geometric and topological information in the generalization of road networks*. Cartographica, 33, s. 75–83.

SRNKA, E (1968): *Analytické řešení generalizace v kartografii*. Habitační práce. Vojenská akademie Antonína Zápotockého, Brno, 159 s.

STOTER, J., ALTENA, V., POST, M. (2014): *Automated Map Generalisation - meeting today's information demands*. GIM International, 28, č. 9, s. 18–21.

STOTER, J. a kol. (2009): *Methodology for evaluating automated map generalization in commercial software*. Computers, Environment and Urban Systems, 33, č. 5, s. 311–324.

VAN REES, E (2016): *Programming in ArcGIS with Python – A Beginners Guide*. Geoawesomeness. Dostupné z URL: <http://geoawesomeness.com/programming-arcgis-python-beginners-guide/> (cit. 9. 4. 2017).

VEČERKA, A. (2007): *Grafy a grafové algoritmy*. Katedra informatiky, Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého, Olomouc, 106 s.

WEISS R, WEIBEL R. (2014): *Road network selection for small-scale maps using an improved centrality-based algorithm*. Journal of Spatial Information Science, 9, s. 71–99.

XIE, F. AND LEVINSON, D. (2007): *Measuring the Structure of Road Networks*. Geographical Analysis, 39, s. 336–356.

ZÚ (2016): *Základní báze geografických dat České republiky – katalog objektů ZABAGED*.

Verze 3.0. Praha. Dostupné z URL:

http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/KATALOG_OBJEKTU_ZABAGED_2016.pdf

(cit. 15. 3. 2017).

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Struktura vytvořených skriptů a způsob jejich využití

Příloha 2: Obsah přiloženého DVD

Příloha 1: Struktura vytvořených skriptů a způsob jejich využití

Celý postup práce je zahrnutý v následujících skriptech, očíslovaných podle pořadí, ve kterém mají být uživatelem spouštěny. Skripty se nacházejí na přiloženém CD.

1_generateArea

- rozděluje území na celky ohraničené silnicemi
- vstup: vektorové vrstvy ZABAGED (SilniceDalnice, SilniceNeevidovana, Cesta, Pesina, Ulice, BudovaBlokBudov)
- výstup: vrstvy ořezané podle hranic zvoleného území
- volitelné parametry:
 - *segment_FID* - identifikátor zvoleného území

2_evaluateSegments

- ohodnotí cesty a pěšiny na základě hierarchie, identifikuje slepé konce a identifikuje jediné přístupové cesty k budovám
- vstup: výstupy z předchozích skriptů - vrstvy ZABAGED odpovídající vybranému území
- výstup: pěšiny a cesty ohodnocené na základě určitých pravidel
- vrstva propojující všechny komunikace

3_findConnectivityPoints

- vybere body, mezi nimiž bude zjišťována konektivita sítě
- vstup: výstupy z předchozích skriptů - pěšiny a cesty ohodnocené na základě určitých pravidel, vrstva propojující všechny komunikace
- výstup: vrstva bodu (včetně vah) pro zjišťování konektivity
- volitelné parametry:
 - *count_buildings* – minimální počet budov ve skupině budov reprezentované bodem pro zjištění konektivity
 - váhy kategorií úseků pro určování významnosti křižovatek:
 - *path_de* – slepé cesty, pěšiny
 - *path_de_object* – slepé cesty a pěšiny vedoucí k důležitému objektu
 - *path1* – nepojmenovaná pěšina

- *path1_named* – pojmenovaná pěšina
- *path2* – nepojmenovaná nezpevněná cesta
- *path2_named* – pojmenovaná nezpevněná cesta
- *path2_paved* – zpevněná cesta
- *street* – ulice
- *road* – silnice
- *number_of_points* - maximální počet bodů pro konektivitu (typu 2)
- *points_distance* - minimální vzdálenost bodů pro zjišťování konektivity (typu 2)
- váhy bodů pro konektivitu 2. typu ohodnocené podle součtu vah cest:
 - *point_w1* – součet 0 – 10
 - *point_w2* – součet 11 – 20
 - *point_w3* – součet 21 – 30
 - *point_w4* – součet 31 – 40
 - *point_w5* – součet 41 – 50
 - *point_w6* – součet 51 – 60
 - *point_w7* – součet 61 – 80
 - *point_w8* – součet 81 – 100
 - *point_w9* – součet 101 – 120
 - *point_w10* – součet 121 a více
 - *point_wb* – váha bodů pro konektivitu 1. typu (body reprezentující skupinu budov)

4_editData

- připraví data pro tvorbu váženého grafu
- vstup: výstupy z předchozích skriptů
- výstup: vrstva úseků všech komunikací s ID koncových bodů, délkou a vahami pro zjišťování konektivity
- volitelné parametry
 - váhy jednotlivých kategorií úseků pro výpočet konektivity
 - *path1_c* – nepojmenovaná pěšina
 - *path1_named_c* – pojmenovaná pěšina
 - *path2_c* – nepojmenovaná nezpevněná cesta

- *path2_named_c* – nepojmenovaná zpevněná cesta
- *path2_paved_c* – zpevněná cesta
- *path_object_c* – jediná přístupová cesta/pěšina k budově
- *street_c* – ulice
- *road_c* – silnice

5_connectivityAnalyses

- tvoří graf, vylučuje úseky na základě konektivity
- vstup: výstupy z předchozích skriptů (vrstva úseků všech komunikací s ID koncových bodů, délkou a vahami pro zjišťování konektivity)
- výstup – vrstvy *Cesta_clip.shp* a *Pesina_clip.shp* s hodnotami atributu zachovat 1 (ponechat) a 0 (neponechat)

Skripty jsou očíslovány podle pořadí, ve kterém mají být uživatelem spouštěny. Podle charakteristiky konkrétního území (které si uživatel zvolí v prvním skriptu) a vlastního uvážení uživatel volí hodnoty určitých parametrů, a to ve skriptu *config.py*. Souhrn všech těchto parametrů, které jsou součástí souboru *config.py*, je zaznamenán v následující tabulce.

parametr	defaultní hodnota	význam
<i>segment_FID</i>	5	FID vybraného území
<i>count_buildings</i>	4	minimum budov ve skupině reprezentované bodem pro konektivitu
<i>path_de</i>	0	slepé cesty, pěšiny
<i>path_de_object</i>	1	slepé cesty a pěšiny vedoucí k důležitému objektu
<i>path1</i>	1	nepojmenovaná pěšina
<i>path1_named</i>	2	pojmenovaná pěšina
<i>path2</i>	4	nepojmenovaná nezpevněná cesta
<i>path2_named</i>	6	pojmenovaná nezpevněná cesta
<i>path2_paved</i>	8	zpevněná cesta
<i>street</i>	12	ulice
<i>road</i>	16	silnice
<i>number_of_points</i>	100	maximální počet bodů pro konektivitu (typu 2)
<i>points_distance</i>	400	minimální vzdálenost bodů pro zjišťování konektivity (typu 2)
<i>point_w1</i>	1,01	součet 0 – 10
<i>point_w2</i>	1,02	součet 11 – 20
<i>point_w3</i>	1,03	součet 21 – 30
<i>point_w4</i>	1,04	součet 31 – 40
<i>point_w5</i>	1,05	součet 41 – 50

parametr	defaultní hodnota	význam
<i>point_w6</i>	1,06	součet 51 – 60
<i>point_w7</i>	1,07	součet 61 – 80
<i>point_w8</i>	1,08	součet 81 – 100
<i>point_w9</i>	1,09	součet 101 – 120
<i>point_w10</i>	1,1	součet 121 a více
<i>point_wb</i>	1,2	váha bodů pro konektivitu 1. typu
<i>path1_c</i>	1	nepojmenovaná pěšina - pro hodnocení křižovatky
<i>path1_named_c</i>	1,02	pojmenovaná pěšina - pro hodnocení křižovatky
<i>path2_c</i>	1,05	nepojmenovaná nezpevněná cesta - pro hodnocení křižovatky
<i>path2_named_c</i>	1,1	nepojmenovaná zpevněná cesta - pro hodnocení křižovatky
<i>path2_paved_c</i>	1,5	zpevněná cesta - pro hodnocení křižovatky
<i>path_object_c</i>	2	jediná přístupová cesta/pěšina k budově - pro hodnocení křižovatky
<i>street_c</i>	2	ulice - pro hodnocení křižovatky
<i>road_c</i>	2	silnice - pro hodnocení křižovatky

Dále je zde předpoklad, že uživatel bude měnit další parametry, které jsou součástí navrženého algoritmu. Ty jsou sepsané v následující tabulce.

parametr	defaultní nastavení
výsledná hustota cestní sítě	hustota sítě v ZABAGED/2,5
důležitý objekt	BudovaBlokBudov
velikost obalové zóny kolem důležitého objektu	10 m

Příloha 2: Obsah přiloženého CD

- Text práce ve formátu PDF
- Použité skripty